



ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΡΕΘΥΜΝΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ

Τίτλος Πτυχιακής Εργασίας

**«Η επίδραση του Mastering στον Crest Factor και στο δυναμικό εύρος
ηχητικού υλικού στον Ελλαδικό χώρο τα τελευταία χρόνια»**

Σπουδαστής:

Φασέγκας Σπυρίδων (Α.Μ.: 1029)

Επιβλέπων Καθηγητής:

Παπαδάκης Νικόλαος

Ρέθυμνο, Ιούνιος 2013

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία εξετάζει την επίδραση του mastering στη τιμή του crest factor τις τελευταίες τρεις δεκαετίες στην Ελλάδα. Το mastering αποτελεί το τελικό στάδιο επεξεργασίας που υφίσταται το μουσικό υλικό πριν τη τελική διανομή του στο εμπόριο. Ένα καθοριστικό στάδιο είναι η συμπίεση του ήχου, η οποία οδηγεί σε μία συνολική αύξηση της έντασής του. Ένας δείκτης που χαρακτηρίζει το ποσοστό συμπίεσης που εφαρμόζεται σε ένα σήμα είναι η τιμή του crest factor. Χαμηλότερη τιμή crest factor σημαίνει συνήθως μεγαλύτερη ένταση. Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες έχει παρατηρηθεί στο εξωτερικό μία τάση αύξησης της έντασης του ήχου για εμπορικούς σκοπούς, που έχει γίνει ευρέως γνωστή ως «πόλεμος της έντασης του ήχου». Η εργασία έχει ως απώτερο σκοπό να διερευνήσει κατά πόσο η τάση αυτή έχει διαδοθεί και τον Ελλαδικό χώρο. Η έρευνα θα πραγματοποιηθεί μέσω της ανάλυσης του δείκτη crest factor σε 250 ελληνικά εμπορικά κομμάτια, που έχουν επιλεγεί με βάση την εμπορικότητά τους ανά έτος από τη δεκαετία του 1980 μέχρι τη δεκαετία του 2000.

Λέξεις κλειδιά:

Mastering, crest factor, ένταση, ακουστότητα, συμπίεση.

Abstract

This thesis paper examines the effects of mastering on the crest factor value in the last three decades in Greece. Mastering is the final stage of processing applied to existing musical material before the final distribution in the market. A very important step of mastering is the audio compression which leads to an overall increase in intensity. An index that characterizes the amount of compression applied to a signal is the value of crest factor. Lowest value of crest factor usually means greater intensity. The last three decades there has been an increase in the intensity of volume for commercial purposes which have become widely known as the "loudness war". This study ultimately aims to investigate whether this trend has spread in Greece. The research will be carried out by analyzing the ratio crest factor of 250 Greek commercial pieces that were chosen based on their marketability per year from the 1980s to the 2000s.

Keywords:

Mastering, crest factor, intensity, loudness, compression.

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας, η οποία υλοποιήθηκε στο Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας & Ακουστικής του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Κρήτης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στη διεκπεραίωση της.

Κατά κύριο λόγο, οφείλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Νικόλαο Παπαδάκη, ο οποίος μου προσέφερε το ενδιαφέρον θέμα και την εμπιστοσύνη του, δίνοντας μου τη δυνατότητα να εκπονήσω την πτυχιακή εργασία στο συγκεκριμένο επιστημονικό τομέα. Τον ευχαριστώ επίσης για τις πολύτιμες γνώσεις και συμβουλές που μου παρείχε καθ' όλη τη χρονική περίοδο της συνεργασίας μας, καθώς και για την απρόσκοπτη υποστήριξη και καθοδήγηση που μου παρείχε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	iii
Abstract	iv
Ευχαριστίες	v
Κατάλογος Σχημάτων	viii
Κατάλογος Πινάκων	xi
Εισαγωγή	1
Αντικείμενο της εργασίας	1
Δομή της εργασίας	1
Κεφάλαιο 1 – Ήχος	3
1.1. Χαρακτηριστικά ήχου	3
1.1.1. Ηχητική Ένταση	4
1.1.1.1. Μονάδες μέτρησης dB	5
1.1.2. Τονικό ύψος	10
1.1.3 Χροιά	11
1.2. Ακουστότητα	11
1.2.1. Κλίμακες μέτρησης ακουστότητας	16
1.2.2. Φίλτρα A, B, C, D	18
1.2.3. Επίδραση σύνθετων ήχων στην ακουστότητα	19
1.2.4. Επίδραση της χρονικής διάρκειας στην ακουστότητα ενός ήχου	20
Κεφάλαιο 2 – Mastering και δυναμική επεξεργασία	23
2.1. Ιστορική Αναδρομή	23
2.2. Ψηφιακή μορφή του ήχου	24
2.2.1. Πλάτος σήματος στα ψηφιακά συστήματα ήχου	25

2.3 Δυναμική επεξεργασία σήματος	27
2.3.1 Ο όρος «δυναμική»	27
2.3.2 Μέτρηση της έντασης	28
2.3.3 Δυναμικό εύρος	29
2.3.4 Μακροδυναμική και μικροδυναμική επεξεργασία του σήματος	33
2.3.5 Διαμόρφωση πλάτους	34
2.3.6 Crest factor	38
2.4 Δυναμικοί επεξεργαστές ήχου	40
2.4.1 Συμπιεστής ήχου (compressor)	40
2.4.2 Περιοριστής (limiter)	45
2.4.3 Συμπιεστής ήχου πολλών ζωνών (multiband compressor)	46
2.4.4 De-esser	47
2.5 Ο πόλεμος της έντασης του ήχου	47
Κεφάλαιο 3 – Εμπειρικό σκέλος	52
3.1 Μεθοδολογία	52
3.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων	56
Κεφάλαιο 4 – Συμπεράσματα	63
4.1 Συμπεράσματα	63
4.2 Προτάσεις	64
4.3 Περιορισμοί / προτάσεις για μελλοντική έρευνα	66
Βιβλιογραφία	67
Παράρτημα	69

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1 - Σύνθεση τεσσάρων αρμονικών διαφορετικού πλάτους	4
Σχήμα 1.2 - Η διαφορά μεταξύ της ενίσχυσης του σήματος σε σχέση με την έντασή του. Η ενίσχυση του σήματος δεν χρειάζεται διευκρίνιση στη μονάδα dB	7
Σχήμα 1.3 - Δύο ισοδύναμα ηχητικά κύματα με διαφορά φάσης 180°	8
Σχήμα 1.4 - Η μέγιστη τιμή πίεσης και η rms σε ένα ημιτονοειδή ήχο	9
Σχήμα 1.5 - Καμπύλες ίσης ακουστότητας Fletcher – Munson	12
Σχήμα 1.6 - Γραφική παράσταση ενδεικτικών τιμών σε phones μη ομοειδών ήχων συναρτήσει των αντίστοιχων εντάσεων τους	14
Σχήμα 1.7 - Σχέση μεταξύ των phones και των sones	16
Σχήμα 1.8 - Η ενίσχυση της έντασης εκφρασμένης σε dB που απαιτείται για το διπλασιασμό της ακουστότητας	16
Σχήμα 1.9 - Καμπύλη απόκρισης αυτιού	17
Σχήμα 1.10 - Συναρτήσεις βάρους A, B, C, D	17
Σχήμα 1.11 - Η επίδραση των κρίσιμων ζωνών στην ακουστότητα	19
Σχήμα 1.12 - Κατώφλι ακουστότητας του ήχου σε συνάρτηση με τη διάρκεια	20
Σχήμα 1.13 - Μεταβολή της ακουστότητας ενός τόνου 2 KHz και έντασης 57 dB σε συνάρτηση με τη διάρκειά του	21
Σχήμα 2.1 - Επιλογή στάθμεων κατά την ψηφιοποίηση ακουστικού σήματος	24
Σχήμα 2.2 - VU μετρητής και η μη γραμμικότητα της κλίμακας	28
Σχήμα 2.3 - Πλάτος της κυματομορφής του ηχητικού αποσπάσματος (πάνω σχήμα) και η αντίστοιχη ένταση σε rms (κάτω σχήμα)	29
Σχήμα 2.4 - Ενδεικτικές τιμές δυναμικού εύρους διαφορετικών μέσων μετάδοσης αποθήκευσης και επεξεργασίας της ηχητικής πληροφορίας εκφρασμένες σε dBm	30
Σχήμα 2.5 - Διαμόρφωση πλάτους δύο ημιτονοειδών	34

Σχήμα 2.6 - Κλασσική διαμόρφωση πλάτους με συχνότητα μεγαλύτερη των 18 Hz	35
Σχήμα 2.7 - Ακολουθητής περιβάλλουσας (διακρίνεται από τη μαύρη γραμμή)	36
Σχήμα 2.8 - Σχηματική παράσταση τριών χαρακτηριστικών καμπύλων μετασχηματισμού ανάλογης μεταβολής του πλάτους	41
Σχήμα 2.9 - Καμπύλη μετασχηματισμού με threshold -40 dBFS και ratio 1:2	42
Σχήμα 2.10 - Συμπίεση ήχου με «μαλακό γόνατο»	43
Σχήμα 2.11 - Συμπίεση ήχου σε διαφορετικές φασματικές ζώνες μέσω της ψηφιακής εφαρμογής Izozone Ozone	45
Σχήμα 2.12 - Χαρακτηριστικές εικόνες συμπίεσης σε κάποιες ενδεικτικές χρονολογίες	47
Σχήμα 2.13 - Διακύμανση του Crest Factor τα τελευταία 40 χρόνια, σύμφωνα με έρευνα του περιοδικού Sound On Sound	48
Σχήμα 3.1 - Περιβάλλον εργασίας της εφαρμογής Wavelab	51
Σχήμα 3.2 - Υπολογισμός της έντασης RMS για το κάθε κανάλι ήχου	52
Σχήμα 3.3 - Η ένταση RMS των 10 πιο εμπορικών ελληνικών τραγουδιών του 1999	53
Σχήμα 3.4 - Η ανάλυση των υψηλότερων peak στα δύο κανάλια	53
Σχήμα 3.5 - Η μέγιστη ένταση που εμφανίζεται στα 10 πιο εμπορικά ελληνικά τραγούδια του 1999	54
Σχήμα 3.6 - Η τιμή Crest Factor των 10 πιο εμπορικών ελληνικών τραγουδιών του έτους 1999	54
Σχήμα 3.7 - Οι γραφικές παραστάσεις της διακύμανσης των τιμών peak και rms τη δεκαετία του 1980	55
Σχήμα 3.8 - Η διακύμανση της τιμής του Crest Factor για τη δεκαετία του '80	56
Σχήμα 3.9 - Οι γραφικές παραστάσεις της διακύμανσης των τιμών peak και rms τη δεκαετία του 1990	57
Σχήμα 3.10 - Η διακύμανση της τιμής του Crest Factor τη δεκαετία του 1990	58

Σχήμα 3.11 - Οι γραφικές παραστάσεις της διακύμανσης των τιμών peak και rms τη δεκαετία του 2000 59

Σχήμα 3.12 - Η διακύμανση της τιμής του Crest Factor τη δεκαετία του 2000 60

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1 – Ενδεικτικές πηγές ήχου και η αντίστοιχη έντασή τους εκφρασμένη σε dB	7
Πίνακας 2.1 – Τιμές crest factor απλών κυματομορφών	38
Πίνακας 3.1 – Συγκεντρωτικά αποτελέσματα 1980-1989	55
Πίνακας 3.2 – Συγκεντρωτικά αποτελέσματα 1990-1999	57
Πίνακας 3.3 – Συγκεντρωτικά αποτελέσματα 2000-2009	59
Πίνακας 3.4 – Συγκεντρωτικά αποτελέσματα 1980-2009	61

Εισαγωγή

Αντικείμενο της εργασίας

Το Mastering αποτελεί το τελικό στάδιο επεξεργασίας του ήχου και αποτελείται από όλες τις ενέργειες οι οποίες έπονται της τελικής μίξης του ηχητικού υλικού και προηγούνται της αποθήκευσης του στο μέσο διανομής του (οπτικός ψηφιακός δίσκος, μαγνητοταινία, βινύλιο). Ένας από τους σκοπούς χρήσης του audio mastering στη μουσική βιομηχανία είναι η τελική επεξεργασία των δυναμικών του σήματος με απώτερο σκοπό την αύξηση της έντασης, καθώς έχει παρατηρηθεί ότι οι ακροατές τείνουν να κατατάσσουν πιο υψηλά στις προτιμήσεις τους τα μουσικά κομμάτια τα οποία έχουν πιο μεγάλη ένταση. Μία κρίσιμη τιμή που ορίζει πόσο δυνατά αντιλαμβάνεται ένας ακροατής ένα ηχητικό δείγμα είναι αυτή του crest factor, η οποία ορίζεται ως η διαφορά της μέγιστης από την μέση ένταση.

Η παρούσα έρευνα έχει διενεργηθεί με απώτερο σκοπό να αναδείξει αλλά και να διερευνήσει το κατά πόσο το ρεύμα της εμπορικής μουσικής στο εξωτερικό που έχει ως δόγμα τη φράση “*πιο δυνατά ίσον καλύτερα*” έχει επηρεάσει και την αντίστοιχη ελληνική μουσική σκηνή. Για το σκοπό αυτό θα γίνει συγκριτική ανάλυση και παράθεση μουσικού ηχητικού υλικού από τη δεκαετία του 1980 έως το 2010 (δέκα μουσικά κομμάτια ανά έτος) που έχει επιλεγθεί έχοντας ως βασικό κριτήριο την εμπορικότητα, δηλαδή το πόσο γνωστό είναι στο ευρύ κοινό.

Δομή της εργασίας

Η παρούσα μελέτη δομείται ως ακολούθως. Αρχικά, γίνεται μια εισαγωγή στο υπό εξέταση ζήτημα, ώστε ο αναγνώστης του παρόντος να γνωρίσει το αντικείμενο και τη διάρθρωση της μελέτης.

Τα ακόλουθα δύο κεφάλαια είναι θεωρητικά. Το **πρώτο κεφάλαιο** καλύπτει θεωρητικά τη δημιουργία του ήχου. Αναφέρονται οι διάφορες μονάδες μέτρησής του, ώστε να γίνει κατανοητό το θεωρητικό υπόβαθρο της έννοιας των δυναμικών που αποτελούν και το κομβικό σημείο της παρούσας εργασίας. Γίνεται μία συνοπτική

παρουσίαση της αντίληψης μίας σημειακής πηγής ήχου από τον άνθρωπο, καθώς και της παρουσίασης ψυχοακουστικών φαινομένων που σχετίζονται με αυτή και τις δυναμικές μεταβολές της.

Το **δεύτερο κεφάλαιο** εξετάζει το Mastering. Επιχειρείται μία ιστορική αναδρομή του από τις απαρχές της γέννησής του μέχρι σήμερα και το ρόλο που ανέπτυξε σε κάθε εποχή. Αποτυπώνεται η αναγκαιότητα χρήσης του κατά τη διαδικασία επεξεργασίας ενός μουσικού κομματιού μέσω της αποκατάστασης σήματος (αποθορυβοποίηση, ανεπιθύμητη παραμόρφωση), της αισθητικής τελειοποίησης (φίλτρα, δυναμικοί επεξεργαστές) και της αισθητικής συνοχής μέσα σε ένα άλμπουμ. Κατόπιν, η μελέτη εστιάζεται στους δυναμικούς επεξεργαστές και στη πολλαπλή χρηστικότητά τους στη μουσική βιομηχανία και ειδικότερα στον τομέα του audio mastering. Τέλος, μελετάται σε βάθος ο συντελεστής crest factor που αποτελεί και το κεντρικό θέμα της εργασίας.

Το **τρίτο κεφάλαιο** περιλαμβάνει το πειραματικό μέρος και τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε. Περιέχει την ανάλυση του ερευνητικού θέματος, της διαδικασίας, της δειγματοληπτικής τεχνικής και των εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση των αποτελεσμάτων του crest factor. Καταγράφονται τα αποτελέσματα της ερευνητικής διαδικασίας, οι παρατηρήσεις μας επί αυτών (ποιοτικές και ποσοτικές), οι απαιτούμενες συγκρίσεις, αντιπαραβολές και διαπιστώσεις.

Η παρούσα μελέτη ολοκληρώνεται με το **τέταρτο κεφάλαιο**, στο οποίο αποτυπώνονται τα συμπεράσματα, οι περιορισμοί της έρευνας καθώς και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Κεφάλαιο 1 – Ήχος

1.1. Χαρακτηριστικά ήχου

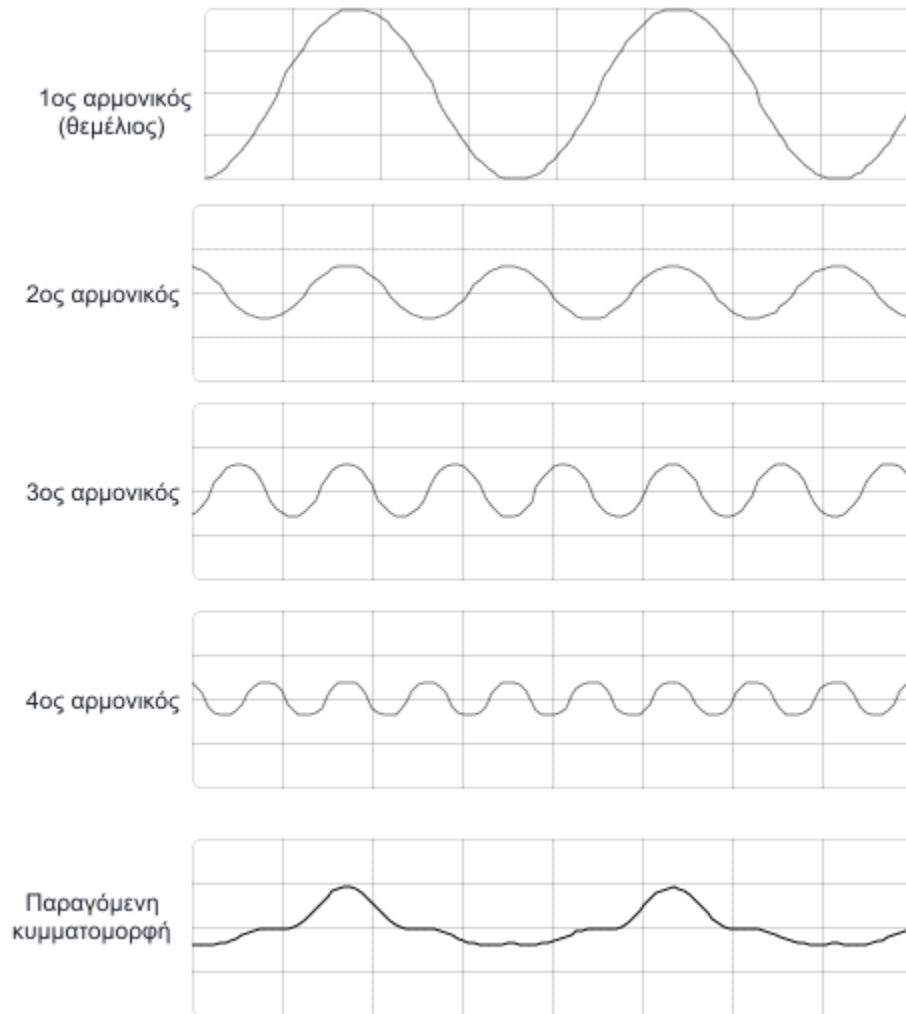
Το ανθρώπινο αυτί ταξινομεί τους ήχους με βάση τρία χαρακτηριστικά: την ένταση, το τονικό ύψος και τη χροιά. Για το διαχωρισμό και την κατανόηση αυτών των εννοιών, πρέπει πρώτα να μελετηθεί η φύση του ήχου. Ο ήχος είναι το αποτέλεσμα μίας κυματικής ταλάντωσης που δημιουργείται από μία μηχανική δόνηση. Η κυματική ταλάντωση / διαταραχή του συστήματος μεταδίδεται μέσω της ταλάντωσης των μορίων, μεταφέροντας την αρχική ενέργειά στα γειτονικά μόρια μέχρι αυτή να εξασθενήσει. Η απλή αρμονική ταλάντωση είναι η πιο απλή μορφή κυματικής διαταραχής και περιγράφεται μαθηματικά από μία ημιτονοειδή συνάρτηση¹:

$$P(t) = p_0 \cdot \cos(\omega t - kx) \quad \text{Εξίσωση 1.1}$$

Σύμφωνα με το νόμο Fourier (Josef Fourier, 1822) όλες οι σύνθετες περιοδικές συναρτήσεις (ταλαντώσεις) δύναται να αναλυθούν σε μία σειρά από απλές περιοδικές (ημιτονοειδείς) συναρτήσεις που ονομάζονται αρμονικές και των οποίων η συχνότητα είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της χαμηλότερης ή θεμελιώδους συχνότητας (Σχήμα 1.1). Στο σχήμα αυτό εντοπίζονται τα τρία βασικά χαρακτηριστικά του ήχου. Η ένταση του σήματος ισοδυναμεί με το πλάτος της τελικής κυματομορφής και, όπως δύναται να παρατηρηθεί, είναι το μισό από το πλάτος της θεμέλιου. Το τονικό ύψος ισούται με την συχνότητα της θεμελιώδους πρώτης από πάνω κυματομορφής. Ισοδυναμεί με το ιδιαίτερο αίσθημα οξύτητας που διαμορφώνεται στον εγκέφαλο του ακροατή. Η χροιά είναι το ιδιαίτερο αίσθημα που προξενεί ένας ήχος στην αντίληψη ενός ακροατή και τον διακρίνει από τους υπόλοιπους. Στη περίπτωση της χροιάς τα ποσοτικά χαρακτηριστικά είναι πολύ πιο σύνθετα και ως εκ τούτου πιο δύσκολο να προσδιοριστούν.²

¹ Σκαρλάτος Δημήτρης, κεφάλαιο 1.1, σελ 27

² Curtis Roads, The Computer Music Tutorial, FFT resynthesis



Σχήμα 1.1 - Σύνθεση τεσσάρων αρμονικών διαφορετικού πλάτους.

1.1.1. Ηχητική Ένταση

Η ένταση του σήματος, όπως αυτή αποτυπώνεται στο τελευταίο διάγραμμα, ισοδυναμεί με το πλάτος της τελικής κυματομορφής και, όπως δύναται να παρατηρηθεί, είναι το μισό από το πλάτος της θεμέλιου.

Δεδομένου ότι η ένταση του ήχου εξαρτάται από την απόσταση αλλά και από τη γωνία πρόσπτωσης, θα μελετηθεί η σχέση της με τις δύο αυτές παραμέτρους. Η δόνηση μίας σημειακής ηχητικής πηγής που είναι ελεύθερη στο χώρο δημιουργεί ομόκεντρα σφαιρικά κύματα που διαστέλλονται καθώς ο παρατηρητής απομακρύνεται από αυτήν. Έτσι, το αρχικό ποσό ενέργειας που μεταφέρεται από την πηγή στα υλικά σωματίδια του

μέσου διάδοσης (πχ αέρας), θα κατανέμεται σε ολόένα και μεγαλύτερη επιφάνεια, άρα και σε περισσότερα σωματίδια. Συνεπώς, κατά μήκος μίας διεύθυνσης και καθώς ένας παρατηρητής απομακρύνεται από την πηγή, θα μειώνεται η ενέργεια του κάθε επιμέρους σωματιδίου, άρα και η ένταση του ήχου. Η σχέση μεταξύ της έντασης και της ακτίνας από την πηγή εκφράζεται μέσω της συνάρτησης:³

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \quad \text{Εξίσωση 1.2}$$

Η σχέση μεταξύ έντασης και πίεσης σε κάποιο σημείο δίνεται από τη σχέση:

$$I = \frac{P_{rms}^2}{\rho \cdot c} \quad \text{Εξίσωση 1.3}$$

όπου P_{rms} εκφράζει την ενεργό πίεση, όπως θα αναλυθεί παρακάτω.

1.1.1.1. Μονάδες μέτρησης dB

Υπάρχουν πολλοί τρόποι προσδιορισμού της έντασης. Η γραφική παράσταση του ηχητικού κύματος προκύπτει από την απεικόνιση των μεταβολών της πίεσης του μέσου σε σχέση με την τιμή ηρεμίας της αναφοράς, συναρτήσει του χρόνου. Έτσι, σε κάθε χρονική στιγμή της διάδοσης του ηχητικού κύματος θα υπάρχει μία συγκεκριμένη τιμή πίεσης του μέσου. Η διαφορά της τιμής αυτής από την πίεση αναφοράς ονομάζεται εύρος ή πλάτος του κύματος, εκφράζει την ένταση του ήχου τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή σε ένα σημείο του χώρου και υπολογίζεται με τη γραμμική μονάδα Pascal ($\text{Pa} = \text{N} / \text{m}^2$). Σύμφωνα με τον νόμο των Weber & Fenchel για τις ανθρώπινες αισθήσεις (κυρίως οπτικά και ηχητικά ερεθίσματα) το υποκειμενικό αίσθημα εξωτερικού ερεθίσματος είναι ανάλογο προς τον λογάριθμο του ερεθίσματος. Σύμφωνα με τον νόμο αυτό, για να διπλασιασθεί το υποκειμενικό αίσθημα έντασης ενός ερεθίσματος, πρέπει η αίσθηση της έντασης να εκατονταπλασιαστεί. Επομένως, ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται τις εντάσεις και τις συχνότητες λογαριθμικά και όχι γραμμικά, ενώ επιπρόσθετα έχει τη δυνατότητα να ανταποκριθεί σε μία τρομερά μεγάλη έκταση ηχητικών πιέσεων που ξεκινούν από τα 20 mPa και φτάνουν μέχρι και τα 200 Pa. Συνεπώς, αυτές οι τιμές αφενός δεν είναι

³ Κων/νος Κουλούρης, Αντώνης Πετρίδης, Ηχοτεχνία τόμος I, σελ 49,50

βολικές, αφετέρου δεν ανταποκρίνονται στο τρόπο με τον οποίο ακούει ο άνθρωπος. Στην ακουστική, χρησιμοποιείται το μέγεθος της ακουστικής πίεσης και το πλάτος του ήχου εκφράζεται με τον όρο “στάθμη ηχητικής πίεσης” ή SPL (sound pressure level). Για τη μέτρηση της ακουστικής πίεσης χρησιμοποιείται η εξίσωση:⁴

$$dB_{SPL} = 20 \cdot \log\left(\frac{P_l}{P_o}\right) \quad \text{Εξίσωση 1.4}^5$$

όπου P_l αντιστοιχεί στη πίεση του υπό μέτρηση ήχου σε Pa και P_o η πίεση αναφοράς, δηλαδή η ελάχιστη πίεση που δύναται να γίνει αντιληπτή από τον ανθρώπινο μηχανισμό ακοής στο 1 KHz. Η τιμή αυτή είναι ίση με 20 μPa και αντιστοιχεί σε 0 dB_{SPL} . Το άνω όριο της ακοής του ανθρώπου βρίσκεται κοντά στα 140 dB_{SPL} μολονότι πρακτικά είναι προτιμότερο να θεωρηθεί ότι η ακοή μας εκτείνεται έως τα 120 dB_{SPL} , το όριο πέρα από το οποίο τα ηχητικά κύματα αρχίζουν να γίνονται αισθητά και από το σώμα μας. Όπως προκύπτει και από τη ακόλουθη φόρμουλα, τα dB_{SPL} βρίσκεται σε αναλογία με την λογαριθμική ακοή του ανθρώπου και έχει ως κατώτατη τιμή το κατώφλι ακοής. Η μέτρηση της έντασης πραγματοποιείται μέσα από εξειδικευμένα όργανα (ηχόμετρα).⁶

Υπάρχουν πολλές διαφορετικές μονάδες μέτρησης της ηχητικής έντασης με τη κάθε μία από αυτές ξεχωριστά να αποτελεί μία αναλογία, η οποία εκφράζεται σε σχέση με μία τιμή αναφοράς. Το dBu εκφράζει volts έχει ως τιμή αναφοράς τα 0,775 volts και έως εκ τούτου εκφράζει την αύξηση της τρέχουσας τιμής τάσης σε σχέση με την τιμή αναφοράς. Το dBm εκφράζει ισχύ σε watts και έχει ως τιμή αναφοράς το 1 milliwatt. Κατά την ενίσχυση ή την εξασθένηση της ηχητικής έντασης, η συνεπακόλουθη αύξηση ή μείωση της έντασης εκφράζεται σε dB χωρίς να χρειαστεί να γίνει αναφορά στις μονάδες μέτρησης. Για παράδειγμα, αν το σήμα εισόδου έχει -23 dBu ένταση και το σήμα εξόδου

⁴ Σκαρλάτος Δημήτρης, Εφαρμοσμένη ακουστική, σελ 76-78

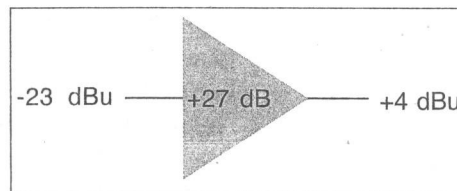
⁵ Σκαρλάτος Δημήτρης, Εφαρμοσμένη ακουστική, εξίσωση 2.5.5

⁶ Σκαρλάτος Δημήτρης, Εφαρμοσμένη ακουστική, σελ 386 έως 388

+4 dBu τότε η αύξηση της ηχητικής έντασης αντιστοιχεί σε 27 dB, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.2.⁷

Ηχητική πηγή	dB
Κατώφλι ακοής	0
Θρόισμα φύλλου	10 dB
Ήσυχο δωμάτιο	20 dB
Συνηθισμένη συζήτηση	40 dB
Θόρυβοι απ' τον δρόμο	50-70 dB
Εργοστάσια	80-90 dB
Μουσική Rock	100-120 dB
Μοτοσικλέτα	100-120 dB
Αίσθημα πόνου	130 dB
Βλάβη ακοής	140 dB

Πίνακας 1.1 – Ενδεικτικές πηγές ήχου και η αντίστοιχη έντασή τους εκφρασμένη σε dB.⁸



Σχήμα 1.2 – Η διαφορά μεταξύ της ενίσχυσης του σήματος σε σχέση με την έντασή του.

Η ενίσχυση του σήματος δεν χρειάζεται διευκρίνιση στη μονάδα dB.⁹

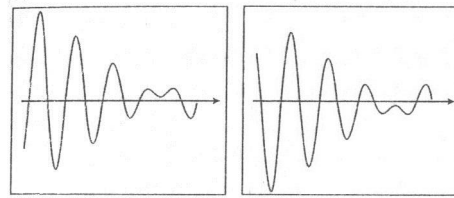
Μία από τις επακόλουθες κυματικές ιδιότητες του ήχου είναι ότι οι αυξομειώσεις του πλάτους συντελούνται με κέντρο βάρους τον άξονα του μηδενός. Το πλάτος δηλαδή δεν παίρνει μόνο θετικές τιμές αλλά και αρνητικές. Επομένως, η μέγιστη τιμή πλάτους που επιστρέφει το ηχόμετρο αντιστοιχεί στο απόλυτο μέγιστο πλάτος σε ένα μία χρονική περίοδο t . Τα δύο κύματα στο Σχήμα 1.3 έχουν ίδιο πλάτος, ίδιο ακουστικό αποτέλεσμα αλλά παρουσιάζουν διαφορά φάσης 180° και έως εκ τούτου το μέγιστο που

⁷ Bob Katz, Mastering Audio, σελ 67

⁸ Κων/νος Κουλούρης, Αντώνης Πετρίδης, Ηχοτεχνία τόμος I, πίνακας 4

⁹ Bob Katz, Mastering Audio The art and the science, σελ 66

παρατηρείται στο θετικό άξονα στη πρώτη κυματομορφή εμφανίζεται στον αρνητικό στη δεύτερη.¹⁰



Σχήμα 1.3 – Δύο ισοδύναμα ηχητικά κύματα με διαφορά φάσης 180°.¹¹

Η μονάδα dB καθιερώθηκε, όπως ειπώθηκε, προκειμένου να υπάρχει σχέση μεταξύ της λογαριθμικής απόκρισης του αισθητήριου ακοής στην ηχητική ένταση και της μονάδας μέτρησής της. Κατά παρόμοιο τρόπο η προσμετρώμενη ένταση του ήχου σε ένα χρονικό διάστημα t πρέπει να ανταποκρίνεται στην αντίληψη της έντασης που έχει το αισθητήριο όργανο ακοής σε σχέση με την διάρκεια. Όπως θα αναλυθεί ακολούθως, ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται για να γίνει αντιληπτή η κάθε συχνότητα διαφέρει ανάλογα με τη τιμή της έντασης. Μία ενδεικτική τιμή διάρκειας στην οποία ο άνθρωπος αρχίζει να αντιλαμβάνεται ένα τόνο 500 Hz με 12 dB ένταση είναι τα 16 msec, ενώ μετά τα 300 msec η διάρκεια δεν επιδρά στην αντίληψή τους. Συνοψίζοντας, χρειάζεται ένα ελάχιστο χρονικό διάστημα το οποίο τοποθετείται στα 300 msec προκειμένου να γίνει αντιληπτή η προσμετρώμενη ένταση του συνολικού φάσματος του ήχου, δηλαδή της χροιάς του. Αυτό οδηγεί στη δημιουργία μίας αντίστοιχης μονάδας dB, η οποία θα περιέχει τη μέση τιμή για το ελάχιστο αυτό χρονικό διάστημα. Καθότι η ενέργεια του ηχητικού κύματος είναι ανάλογη με το τετράγωνο της ηχητικής πίεσης, όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, χρησιμοποιούνται οι μέσες τετραγωνικές τιμές της πίεσης rms για την μαθηματική έκφραση της πίεσης για ένα χρονικό διάστημα t .¹²

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_v^2}{v}}$$

Εξίσωση 1.5

¹⁰ Bob Katz, Mastering Audio The art and the science, σελ 67

¹¹ Bob Katz, Mastering Audio The art and the science, σελ 67

¹² Σκαρλάτος Δημήτρης, Εφαρμοσμένη Ακουστική, σελ 68

για μία κατανομή διακριτών τιμών, ενώ για μία συνεχή συνάρτηση $f(x)$ η εξίσωση λαμβάνει την ακόλουθη μορφή:

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{\int_{t_1}^{t_2} f(x)^2 dt}{t_2 - t_1}} \quad \text{Εξίσωση 1.6}$$

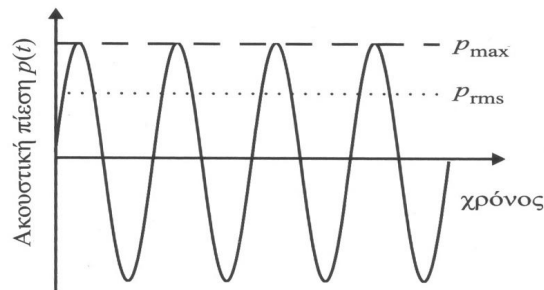
Στη συνάρτηση μεταξύ πίεσης και χρόνου, η ανωτέρω εξίσωση διατυπώνεται ως εξής:

$$P_{rms} = \sqrt{\frac{\int_{t_1}^{t_2} P(t)^2 dt}{t_2 - t_1}} \quad \text{Εξίσωση 1.7}$$

Η ένταση αυτή αναφέρεται ως ενεργός ένταση του ήχου. Αν το κύμα είναι αρμονικό, τότε προκύπτει ότι:

$$P_{rms}^2 = P_{max}^2 \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \cos^2(\omega t - kx) dt = \frac{P_{max}^2}{2} \quad \text{Εξίσωση 1.8}$$

όπου P_{max} το μέγιστο πλάτος του αρμονικού κύματος. Από την τελευταία εξίσωση προκύπτει ότι η κάθε συχνότητα που αποτελεί μέρος του φάσματος ενός ήχου και κατ' επέκταση της χροιάς του, έχει ενεργό ένταση ίση με τη μέγιστη τιμή της ημιτονοειδούς κυματομορφής προς τη τιμή $\sqrt{2}$. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.4, η RMS τιμή οριοθετείται μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής πλάτους που εμφανίζονται σε ένα ηχητικό κύμα.



Σχήμα 1.4 – Η μέγιστη τιμή πίεσης και η rms σε ένα ημιτονοειδή ήχο.¹³

¹³ Δημήτρης Σκαρλάτος, Εφαρμοσμένη Ακουστική, σελ 68

1.1.2. Τονικό ύψος

Το τονικό ύψος ισούται με την συχνότητα της θεμελιώδους πρώτης από πάνω κυματομορφής (Σχήμα 1.1). Ισοδυναμεί με το ιδιαίτερο αίσθημα οξύτητας που διαμορφώνεται στον εγκέφαλο του ακροατή, που ενώ προσδιορίζεται με δυσκολία ποσοτικά, είναι παρόλα αυτά αντιληπτό. Όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα της ταλάντωσης που προκαλέσει τον ήχο, τόσο μεγαλύτερη είναι η αίσθηση οξύτητας που γίνεται αντιληπτή.¹⁴

Σε ένα μονοφωνικό όργανο το οποίο δεν έχει η συχνότητα δύναται να μετρηθεί με ακρίβεια μέσω διαδικασιών FFT ανάλυσης. Δε συμβαίνει όμως το ίδιο και με ένα πολυφωνικό όργανο στο οποίο ενώ ο ανθρώπινος εγκέφαλος διακρίνει με σχετική ευκολία τα τονικά ύψη τα οποία σχηματίζονται, η FFT ανάλυση δε μπορεί να εντοπίσει με ακρίβεια τα τονικά ύψη, καθώς τα πλάτη των αρμονικών προστίθενται στα πλάτη των θεμελίων, με αποτέλεσμα να κρίνεται ως εξαιρετικά δύσκολος ο ποσοτικός προσδιορισμός των θεμελίων τόνων. Άλλη μία επιπρόσθετη δυσκολία που προκύπτει, είναι ότι ένα φάσμα, όπως θα αναλυθεί παρακάτω, αποτελείται και από μη αρμονικούς τα πλάτη των οποίων μπορεί να επικαλύπτουν τα αντίστοιχα των αρμονικών και της θεμελίου. Σε αυτή τη περίπτωση ο ανθρώπινος εγκέφαλος δε μπορεί να προσδιορίσει το ύψος του ήχου με ακρίβεια. Όσο πιο ευδιάκριτοι είναι οι αρμονικοί σε σχέση με το υπόλοιπο φάσμα ενός ήχου τόσο πιο ευδιάκριτη θα είναι και η ακουστότητά του.¹⁵

Ιδιαίτερα στους θορύβους αν και δε μπορεί να προσδιορίσει με ακρίβεια το τονικό ύψος τους, μπορεί να διακρίνει την οξύτητά τους. Για παράδειγμα μπορεί να αντιληφθεί ότι ο ήχος που παράγεται από το αεροπλάνο κατά την απογείωσή του είναι πιο χαμηλός συχνοτικά από τον ήχο που παράγεται από μία ηλεκτρική σκούπα παρόλο που και οι δύο έχουν θορυβώδες φασματικό περιεχόμενο.¹⁶

¹⁴ Κων/νος Κουλούρης Αντώνης Πετρίδης , Ηχοτεχνία , σελ 66

¹⁵ Curtis Roads , The Computer Music Tutorial, σελ 1085 έως 1086

¹⁶ Σκαρλάτος Δημήτρης, Εφαρμοσμένη Ακουστική, σελ 384

1.1.3 Χροιά

Η χροιά είναι το ιδιαίτερο αίσθημα που προξενεί ένας ήχος στην αντίληψη ενός ακροατή και τον διακρίνει από τους υπόλοιπους. Δύναται να υπάρχει μια εποπτική εικόνα της χροιάς, κοιτάζοντας το φάσμα ενός ήχου που είναι το συνολικό αποτέλεσμα των εντάσεων των συχνοτήτων σε μία δεδομένη χρονική στιγμή. Στη περίπτωση της χροιάς τα ποσοτικά χαρακτηριστικά είναι πολύ πιο σύνθετα και ως εκ τούτου πιο δύσκολο να προσδιοριστούν. Ενδεικτικά, θα αναφερθεί ότι οποιοσδήποτε μη συνθετικός ήχος, εκτός από τα ακέραια πολλαπλάσια του θεμέλιου, περιέχει και όλες τις υπόλοιπες συχνότητες. Εάν για παράδειγμα σε ένα ιδεατό φυσικό ήχο η θεμέλιος είναι η ΛΑ 1 η οποία εντοπίζεται στα 110 Hz και οι αρμονικοί της είναι ακριβώς στα 220 Hz, 330 Hz, 440 Hz θα υπάρχουν ταυτόχρονα και όλες οι υπόλοιπες συχνότητες πλην των αρμονικών από τα 20 Hz μέχρι τα 20 KHz (221 Hz, 222 Hz, 223 Hz) με ξεχωριστό πλάτος έντασης, το οποίο θα είναι πολύ μικρότερο από το αντίστοιχο των αρμονικών. Το ακουστικό αποτέλεσμα των συγκεκριμένων συχνοτήτων προσδίδει θόρυβο στο ακουστικό σήμα, για το λόγο αυτό και ονομάζεται υπολειπόμενο θορύβου (noise residual). Έχει δε τεράστια σημασία στην αναγνώριση του ηχοχρώματος ενός οργάνου. Επίσης σε όλα τα φυσικά όργανα, οι αρμονικοί δεν είναι ακέραια πολλαπλάσια της θεμελιώδους αλλά προσεγγίζουν μόνο τη τιμή της συχνότητας του κάθε αρμονικού ενώ σε πολλές περιπτώσεις όπως στα χάλκινα όργανα δεν είναι ούτε κατά προσέγγιση ίδιες. Όπως γίνεται εύκολα κατανοητό λοιπόν η ταυτόχρονη ποσοτική μέτρηση χιλιάδων συχνοτήτων με σκοπό την εξαγωγή κάποιου συμπεράσματος είναι εξαιρετικά δύσκολη εάν όχι αδύνατη να υπολογιστεί.¹⁷

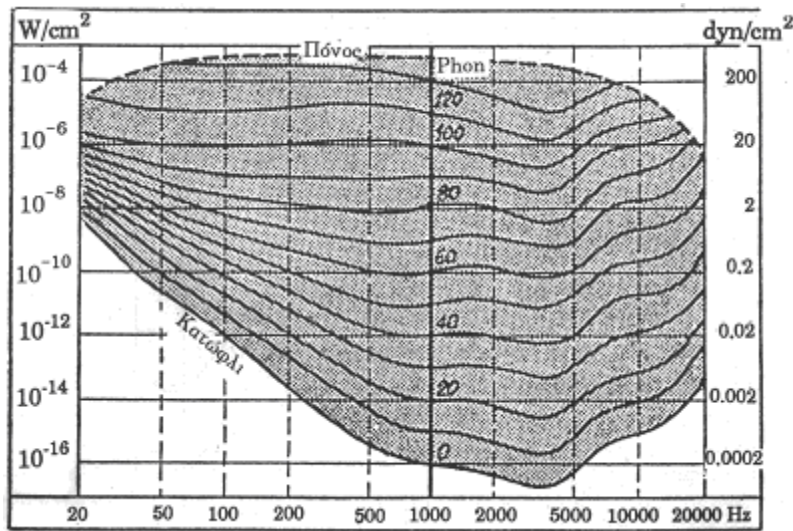
1.2. Ακουστότητα

Ανωτέρω παρουσιάστηκε μία σύνοψη των άλλων δύο βασικών χαρακτηριστικών ενός ήχου, του τονικού ύψους και της χροιάς, παρόλο που δεν αποτελούν άμεσα το αντικείμενο της παρούσης εργασίας. Η αναφορά έγινε προκειμένου να αναδειχθούν τα

¹⁷ Σκαρλάτος Δημήτρης, Εφαρμοσμένη Ακουστική, σελ 386

χαρακτηριστικά τα οποία καθιστούν τα δύο μεγέθη υποκειμενικά, όπως και η περίπτωση της αντίληψης της έντασης που προσλαμβάνει ο άνθρωπος. Παρόλο που τα ποσοτικά /αντικειμενικά χαρακτηριστικά είναι πιο ευδιάκριτα, στη περίπτωση της έντασης και του τονικού ύψους, το γεγονός και μόνο ότι παρεμβαίνει το ανθρώπινο αντιληπτικό σύστημα τους δίνει επίσης ένα μη ποσοτικό χαρακτήρα. Στη περίπτωση της έντασης, η υποκειμενική αυτή αντίληψη ονομάζεται ακουστότητα.¹⁸

Ακουστότητα του ήχου είναι για τον σύνθετο ήχο το αντίστοιχο ψυχοφυσικό μέγεθος του φυσικού μεγέθους της έντασης. Χαρακτηρίζει δηλαδή το ποσοτικό αίσθημα ακοής που προκαλείται στο αισθητήριο από ένα συγκεκριμένο ήχο αλλά και την αίσθηση της ποσοτικής διαφοράς ανάμεσα σε δύο ομοειδείς ή ανομοειδείς ήχους. Η σύνδεση μεταξύ του αντικειμενικού μεγέθους της έντασης του ήχου και της υποκειμενικής αίσθησης της ακουστότητας γίνεται μέσω των καμπύλων ακουστότητας.¹⁹



Σχήμα 1.5 - Καμπύλες ίσης ακουστότητας Fletcher – Munson²⁰

Οι καμπύλες αυτές στηρίζονται σε εργασίες των Fletcher και Steinberg και Fletcher και Munson, ενώ στη συνέχεια επιβεβαιώθηκαν και από άλλους ερευνητές. Για

¹⁸ Παπαδάκης Νίκος, Ψυχοακουστική, σελ 74,75

¹⁹ Κων/νος Κουλούρης, Αντώνης Πετρίδης σελ 67

²⁰ Κων/νος Κουλούρης Αντώνης Πετρίδης, Ηχοτεχνία, τόμος I, σχήμα 2-5

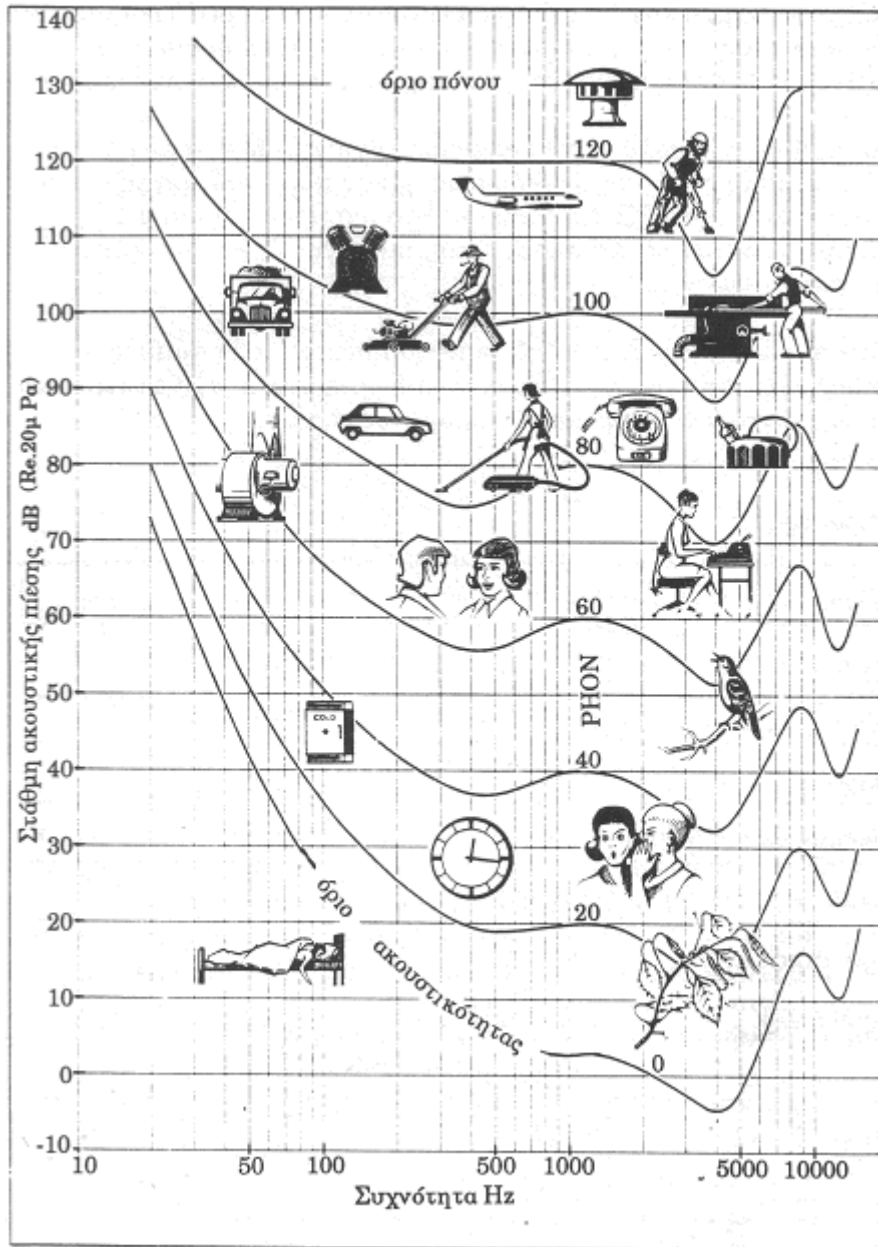
τη σχεδίαση της γραφικής παράστασης διενεργήθηκε ένα πείραμα στο οποίο ζητήθηκε από τους ακροατές - συμμετέχοντες να προσδιορίσουν πόσο έπρεπε να εξασθενήσει ή ενισχυθεί ένας ήχος ημιτόνου μίας συγκεκριμένης συχνότητας και διάρκειας έως 500 msec, ώστε να έχει την ίδια ένταση σύμφωνα με την αντίληψή τους με έναν ημιτονοειδή ήχο στα 1000 Hz. Επομένως, ο ερευνητής ξεκινούσε με ένα ημίτονο στα 1000 Hz με ακουστική ένταση τα 10 dB_{SPL} ως ήχο αναφοράς και ζητούσε από τον ακροατή πόσο θα έπρεπε να ελαττώσει ή να αυξήσει την ένταση ενός ημιτόνου στα 20 Hz, ώστε να έχει ίδια ακουστική αίσθηση έντασης. Κατόπιν, ανέβαζε τη συχνότητα στα 30 Hz, 40Hz κοκ μέχρι να πάρει τη καμπύλη ίσης ακουστότητας στα 10 dB_{SPL} . Ακολούθως, επαναλάμβανε την ίδια διαδικασία για τα 20 dB_{SPL} , 30 dB_{SPL} , 40 dB_{SPL} ... 120 dB_{SPL} μέχρι να σχηματιστεί το πλήρες διάγραμμα που περιέχει όλες τις καμπύλες ακουστότητας.²¹

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι ένας ήχος ημιτόνου στα 500 HZ που έχει ένταση 60 phone παράγει την ίδια αίσθηση έντασης με αυτήν που έχει ένα ημίτονο στα 1000 HZ με ένταση 60 dB_{SPL} . Και από τις καμπύλες ακουστότητας παρατηρείται ότι πρέπει να μειωθεί η έντασή του κατά περίπου 3 dB_{SPL} προκειμένου αυτή να επιτευχθεί.

Οι καμπύλες ακουστότητας δίνουν εξήγηση σε ακουστικά παράδοξα που συναντώνται στη καθημερινότητά μας όπως για παράδειγμα για ποιο λόγο όταν ακούμε ένα μουσικό κομμάτι στο ραδιόφωνο σε χαμηλότερη στάθμη, η μεσαία συχνοτικά περιοχή του φάσματος μοιάζει να έχει μεγαλύτερη ένταση. Οι καμπύλες ακουστότητας έχουν τεράστια σημασία καθώς μας δίνουν μία ενδεικτική εικόνα για το πώς πρέπει να ισοσταθμιστεί ένα ηχητικό σύστημα ανάλογα με την ένταση που θα παραχθεί σε ένα συγκεκριμένο χώρο. Δηλαδή, να ενισχυθούν ή να εξασθενήσουν συχνοτικές περιοχές ανάλογα με το αν η μουσική θα αναπαραχθεί σε συναυλιακό χώρο, κλειστό χώρο διασκέδασης, καφετέρια κοκ. Στο Σχήμα 1.6 απεικονίζεται η γραφική παράσταση

²¹ Κων/νος Κουλούρης Αντώνης Πετρίδης, Ηχοτεχνία, τόμος I, σελ 67, 68

ενδεικτικών τιμών σε phones μη ομοειδών ήχων και οι αντίστοιχες εντάσεις τους σε dB_{SPL} .²²



Σχήμα 1.6 - Γραφική παράσταση ενδεικτικών τιμών σε phones μη ομοειδών ήχων συναρτήσει των αντίστοιχων εντάσεων τους σε dB_{SPL} .²³

²² Παπαδάκης Νίκος, Ψυχοακουστική, σελ 75

Οι καμπύλες ίσης ακουστότητας έχουν σχεδιαστεί για επίπεδο κύμα το, οποίο έχει μηδενική γωνία πρόσκρουσης. Σε περισσότερες περιπτώσεις το κύμα δεν είναι ένα απλό επίπεδο κύμα αλλά ένα ακουστικό κύμα διάχυσης, που έρχεται στον ακροατή από πολλές διαφορετικές γωνίες όπως συμβαίνει όταν ανακλάται από τον χώρο. Σε αυτή τη περίπτωση οι ισοακουστικές καμπύλες για ένα επίπεδο κύμα και για ένα κύμα διάχυσης είναι διαφορετικές και υπολογίζεται ως η τιμή που πρέπει να ελαττωθεί το ακουστικό κύμα που προέρχεται από το ελεύθερο πεδίο, ώστε να έχει τιμή ίση με αυτήν που έχει ως κύμα διάχυσης.

1.2.1. Κλίμακες μέτρησης ακουστότητας

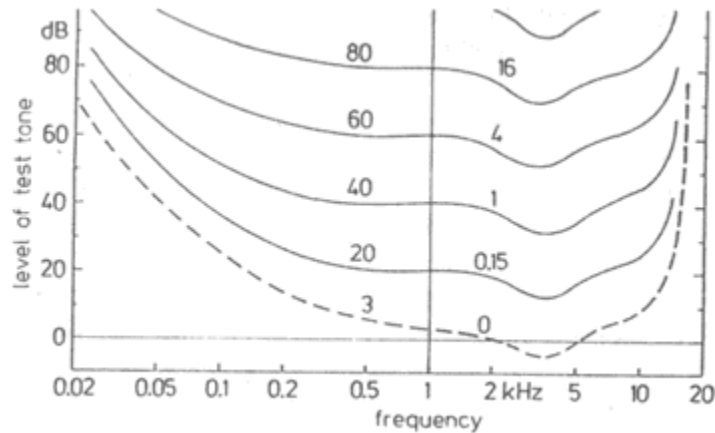
Προκειμένου να προσδιοριστεί ποσοτικά η αίσθηση της έντασης κάθε ήχου, δημιουργήθηκαν δύο κλίμακες ακουστότητας. Από τα πειράματα που οδήγησαν στην δημιουργία των ισοακουστικών καμπυλών δημιουργήθηκε η κλίμακα των phones. Όλοι οι ήχοι που γίνονται αντιληπτοί ως ίσοι με ένα τόνο 1000 Hz που έχει ένταση 40 dB_{SPL} έχουν ακουστότητα 40 phones. Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζεται η ακουστότητα οποιουδήποτε ήχου στη κλίμακα των phones. Ένας ήχος που έχει ακουστότητα 70 phones έχει ακουστική ένταση 70 dB_{SPL} στο 1 KHz.²⁴

Ένα sone είναι το επίπεδο ακουστότητας ενός τόνου 1000 Hz που έχει ένταση 40 dB_{SPL} και έχει την ιδιότητα να διπλασιάζεται για κάθε αύξηση της έντασης σε phones κατά 10 dB. Στο διάγραμμα του Σχήματος 7 αποδίδεται η σχέση μεταξύ των phones και των sones. Δημιουργήθηκε μέσα από πειράματα στα οποία ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να ρυθμίζουν την ένταση μίας ημιτονοειδούς κυματομορφής με συχνότητα 1000 Hz και έντασης 40 dB_{SPL} , ώστε η τελική της ένταση να είναι η μισή ή η διπλάσια της αρχικής. Οι τόνοι με την καινούρια ένταση χρησιμοποιούνταν ως τόνοι αναφοράς για την εύρεση του πλάτους νέων ηχητικών τόνων που θα είχαν διπλάσιο ή

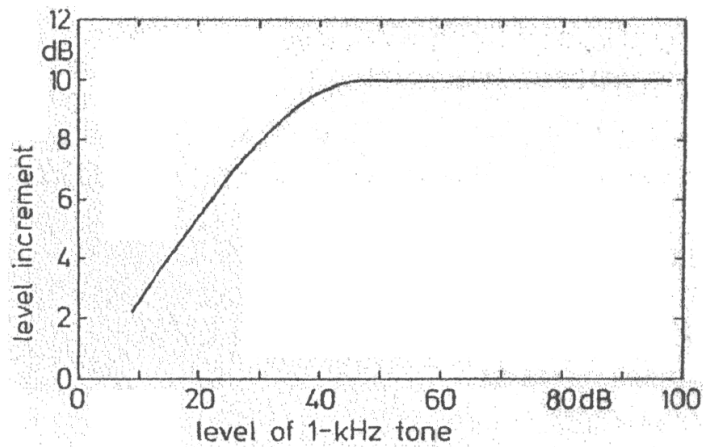
²³ Κων/νος Κουλούρης, Αντώνης Πετρίδης, Ηχοτεχνία, σελ 72.

²⁴ Παπαδάκης Νίκος, Ψυχοακουστική, σελ 76

μισό πλάτος. Από τα παραπάνω δεδομένα δύναται να δημιουργηθεί ένα διάγραμμα στο οποίο να αναγράφεται η τιμή της πίεσης εκφρασμένη σε dB_{SPL} που απαιτείται για κάθε διπλασιασμό της ακουστότητας σε sones για τη συχνότητα του 1 KHz.²⁵



Σχήμα 1.7 - Σχέση μεταξύ των phones και των sones.²⁶



Σχήμα 1.8 – Η ενίσχυση της έντασης εκφρασμένης σε dB που απαιτείται για το διπλασιασμό της ακουστότητας.²⁷

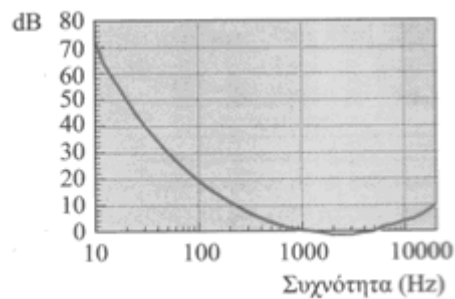
²⁵ Fastl & Zwicker, Psychoacoustics. Κεφάλαιο 8.1

²⁶ Fastl & Zwicker, Psychoacoustics. Κεφάλαιο 8.2

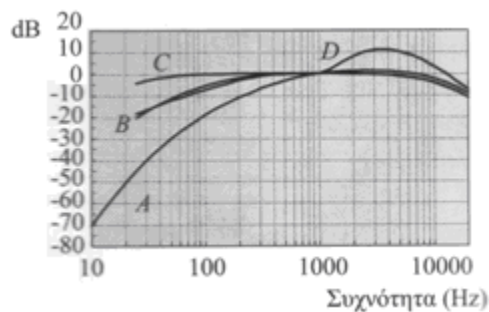
²⁷ Fastl & Zwicker, Psychoacoustics. Σχήμα 8.3

1.2.2. Φίλτρα A, B, C, D

Μία εφαρμογή των ισοακουστικών καμπυλών στην ακουστική είναι η εφαρμογή τυποποιημένων φίλτρων που εξασθενούν τον ήχο ανάλογα με την απόκριση του αυτιού. Τα φίλτρα αυτά ονομάζονται φίλτρα βάρους A ή συναρτήσεις βάρους A. Επομένως, η μετρούμενη στάθμη είναι ουσιαστικά η ακουστική ένταση που ακούει ο άνθρωπος. Όταν εφαρμόζεται το φίλτρο A η μετρούμενη ηχητική πίεση θα είναι μικρότερη από την πραγματική και για να γίνει διαχωρισμός από την στάθμη χωρίς φίλτρο, ονομάζεται dB(A). Εκτός από την συνάρτηση A, υπάρχουν επίσης και οι συναρτήσεις B, C, D οι οποίες χρησιμοποιούνται σε πιο εξειδικευμένες περιπτώσεις. Για παράδειγμα, το φίλτρο C χρησιμοποιείται για τη μέτρηση θορύβου αεροπλάνου.²⁸



Σχήμα 1.9 – Καμπύλη απόκρισης αυτιού.



Σχήμα 1.10 – Συναρτήσεις βάρους A, B, C, D.²⁹

²⁸ Σκαρλάτος Δημήτρης, Εφαρμοσμένη Ακουστική, σελ 99,100

²⁹ Σκαρλάτος Δημήτρης, Εφαρμοσμένη Ακουστική, σχήμα 3.2.1

1.2.3. Επίδραση σύνθετων ήχων στην ακουστότητα

Όπως έχει αναφερθεί, όλα τα διαγράμματα που αφορούν την ακουστότητα, έχουν εξαχθεί χρησιμοποιώντας ημιτονοειδείς ήχους κατά την διεξαγωγή των αποτελεσμάτων. Καθότι ο ημιτονοειδής ήχος συναντάται σπάνια στην καθημερινότητά μας, θα μελετηθεί η ακουστότητα σε πιο σύνθετους τόνους. Ένας από αυτούς είναι το λευκός θόρυβος, που οδηγείται σε ένα ζωνοπερατό φίλτρο που έχει πολύ μεγάλο ρυθμό εξασθένησης. Λόγω αυτού του χαρακτηριστικού, το φάσμα του εξερχόμενου από το φίλτρο θορύβου αποτελείται από όλες τις συχνότητες της ζώνης εύρους του, οι οποίες τείνουν να έχουν την ίδια ένταση κατά μήκος του και αποκαλούνται θόρυβοι ευρείας ζώνης (broad band noise).

Μία πρώτη εκτίμηση των αποτελεσμάτων μεταβαλλόμενης ζώνης δίνεται από το κάτωθι σχεδιάγραμμα, στο οποίο απεικονίζεται η σχέση της φασματικής πυκνότητας σε συνάρτηση με το εύρος ζώνης του ζωνοπερατού φίλτρου. Δίνεται από τη σχέση:

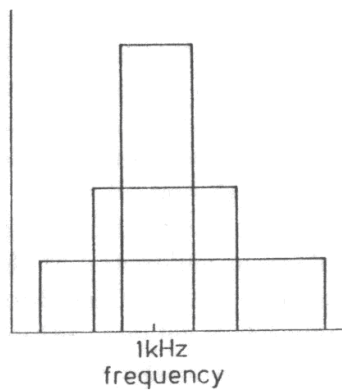
$$\text{φασματική πυκνότητα} = \frac{\Delta I}{\Delta f} \quad \text{Εξίσωση 1.9}^{30}$$

όπου ΔI είναι η διαφορά ακουστότητας σε δύο διαφορετικές μετρήσεις θορύβων ευρείας ζώνης και Δf είναι η διαφορά της ζώνης εύρους των θορύβων ευρείας ζώνης. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι η φασματική πυκνότητα όταν εφαρμόζεται λευκός θόρυβος στην είσοδο του φίλτρου θα είναι ίδια καθώς η ενέργεια όλων των συχνοτήτων του εκπεμπόμενου φάσματος είναι ισοδύναμη. Επομένως, η φασματική πυκνότητα στη ζώνη 360 Hz έως 1000 Hz θα είναι ίδια με τη φασματική πυκνότητα που εντοπίζεται από τα 13000 Hz έως τα 18000 Hz. Η προσμετρώμενη ολική ένταση όμως θα αλλάζει όσο αυξάνει το μέγεθος της ζώνης εύρους, καθώς το αποτέλεσμα της δεν θα εξαρτάται από μία μόνο συχνότητα αλλά από τόσες όσες περιέχονται στο εύρος ζώνης. Αν η ολική ένταση όμως μείνει σταθερή, τότε η φασματική πυκνότητα θα αλλάζει καθώς αλλάζει το εύρος ζώνης. Στο διάγραμμα αναγράφονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης μεταξύ ενός

³⁰ Fastl & Zwicker, Psychoacoustics, κεφάλαιο 8

broadband noise αυξανόμενου εύρους ζώνης με συχνότητα αποκοπής το 1 KHz με ένα ημιτονοειδή ήχο επίσης στο 1 KHz.³¹

Τα αποτελέσματα δείχνουν πως αυξάνοντας το εύρος ζώνης μέχρι μίας οριακής τιμής Δf η ακουστότητα παραμένει η ίδια για όλες τις εντάσεις. Η οριακή αυτή τιμή για το 1 KHz είναι τα 160 Hz. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι ένας λευκός θόρυβος με εύρος 160 Hz και κεντρική συχνότητα τα 1000 Hz έχει ίδια ακουστότητα με ένα ημιτονικό κύμα συχνότητας 1000 Hz. Για τιμές εύρους ζώνης μεγαλύτερου των 160 Hz η ακουστότητα αυξάνεται περισσότερο για τις μεγαλύτερες τιμές έντασης και λιγότερο για τις μικρότερες. Για τις πολύ χαμηλές τιμές ακουστότητας όπως τα 20 dB, η τιμή της αυξάνει οριακά και μετά τα 2 KHz η αίσθηση της έντασης κρίνεται ως μικρότερη παρόλο που αυξάνεται το εύρος ζώνης του εφαρμοζόμενου λευκού θορύβου.



Σχήμα 1.11 – Η επίδραση των κρίσιμων ζωνών στην ακουστότητα.³²

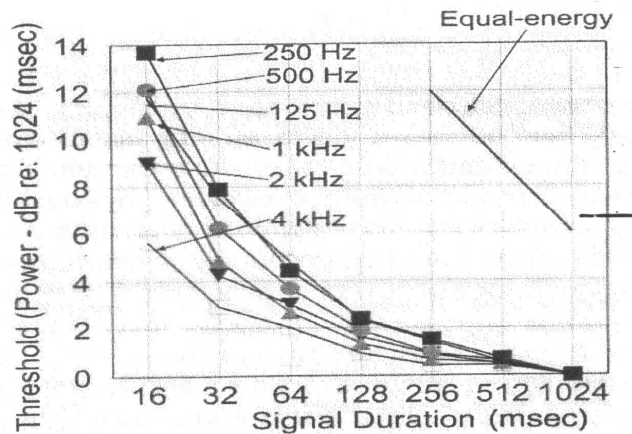
1.2.4. Επίδραση της χρονικής διάρκειας στην ακουστότητα ενός ήχου

Σημαντικό ρόλο στην αντίληψη του ήχου έχει η διάρκεια τους. Κατόπιν διενέργειας ψυχοακουστικών πειραμάτων, έχει καταρτιστεί ο κάτωθι πίνακας στον οποίο αναγράφονται οι τιμές ή αλλιώς κατώφλια ακουστότητας της έντασης του ήχου στις οποίες γίνονται αντιληπτές οι συχνότητες 125 Hz έως και τα 4 KHz σε συνάρτηση με τη

³¹ Fastl & Zwicker, Psychoacoustics, κεφάλαιο 8.2

³² Fastl & Zwicker, Psychoacoustics, κεφάλαιο 8, σχήμα 8.6

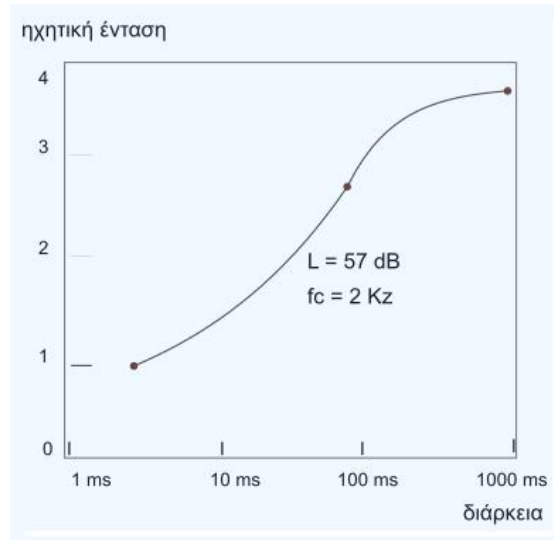
χρονική διάρκεια. Για παράδειγμα και σύμφωνα πάντα με τον πίνακα, μία ενδεικτική τιμή διάρκειας στην οποία ο άνθρωπος αρχίζει να αντιλαμβάνεται ένα τόνο 500 Hz με 12 dB ένταση είναι τα 16 msec. Αξίζει να σημειωθεί ότι για διάρκειες πάνω από τα 300 msec το σήμα δεν γίνεται πιο εύκολο να ανιχνευθεί αν αυξηθεί η διάρκεια τους αφού δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφοροποιήσεις στις τιμές των κατώφλιων ακουστότητας.



Σχήμα 1.12 – Κατώφλι ακουστότητας του ήχου σε συνάρτηση με τη διάρκεια.³³

Η χρονική διάρκεια όμως δεν επηρεάζει μόνο το κατώφλι ακουστότητας αλλά και την ίδια την ακουστότητα του ήχου. Όπως παρατηρείται στο επόμενο σχήμα στο οποίο καταγράφεται η ακουστότητα του ήχου σε sones σε συνάρτηση με την χρονική διάρκειά του, σε αντιστοιχία με τη προηγούμενη διαπίστωση σύμφωνα με την οποία το κατώφλι ακουστότητας δεν διαφοροποιείται σημαντικά μετά τα 300 msec, η ακουστότητα του ήχου επίσης παραμένει σχεδόν αμετάβλητη μετά τα 300msec.

³³ Παπαδάκης Νίκος, Ψυχοακουστική, εικόνα 4



Σχήμα 1.13 Μεταβολή της ακουστότητας ενός τόνου 2 KHz και έντασης 57 dB σε συνάρτηση με τη διάρκειά του.³⁴

³⁴ Fastl & Zwicker, Psychoacoustic , σχήμα 8.1.2

Κεφάλαιο 2 – Mastering και δυναμική επεξεργασία

Σύμφωνα με τον Bob Owsinsky, «*το Mastering είναι η διαδικασία κατά την οποία μετατρέπεται μία συλλογή κομματιών σε δίσκο με την επίτευξη ακούσματος τους ωσάν να ανήκουν μαζί στην ίδια τονικότητα, ένταση και χρόνο*». ³⁵ Αποτελείται από όλα τα στάδια επεξεργασίας που υφίσταται ένα ηχητικό υλικό από την τελική του μίξη μέχρι και την αποθήκευσή του στο τελικό μέσο διανομής του.

2.1. Ιστορική Αναδρομή

Η γένεση του mastering ανάγεται το 1948 όταν η εφεύρεση του πρώτου μαγνητοφώνου οδήγησε στη δημιουργία ενός νέου τεχνικού που ήταν επιφορτισμένος με τη δουλειά της μεταφοράς του ήχου από τη μαγνητική ταινία στο βινύλιο. Μία επιτυχημένη μεταφορά σήμαινε ότι δε θα εφαρμόζονταν μεγάλη δύναμη στο βινύλιο ώστε να καταστρέφεται αλλά ούτε και χαμηλή ώστε να επικρατεί ο θόρυβος. Όπως παρατηρείται, η διαδικασία επέμβασης στο δυναμικό εύρος της ηχητικής πληροφορίας δημιουργήθηκε παράλληλα και ταυτόχρονα με την ανάγκη αποθήκευσής της σε κάποιο μέσο. Με το καιρό οι τεχνικοί που εφάρμοζαν αυτές τις διαδικασίες βελτίωσαν τη τεχνική τους ενώ ταυτόχρονα εφάρμοζαν τεχνικές φασματικής επεξεργασίας (equalization) και δυναμικής επεξεργασίας (compression), ώστε ο δίσκος να ακούγεται πιο δυνατά με αποτέλεσμα να περιέχει λιγότερο θόρυβο. ³⁶

Οι παραγωγοί και οι καλλιτέχνες άρχισαν να παρατηρούν πώς ένας δίσκος που ακουγόταν πιο δυνατά στο ραδιόφωνο είχε μεγαλύτερη εμπορική απήχηση στο κοινό, πουλούσε δηλαδή περισσότερο. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μία νέα γενιά μηχανικών ήχου, αυτών που επιδρούσαν δημιουργικά στο τελικό αποτέλεσμα και του έδιναν τη βέλτιστη ηχητικά μορφή πριν μεταφερθεί στο βινύλιο. Ο τεχνικός που θα κάνει mastering στη τελική μίξη είναι επιφορτισμένος με πολλαπλά καθήκοντα τόσο στο

³⁵ Χρονικά διαστήματα που υπάρχουν μεταξύ των κομματιών

³⁶ Bob Owsinsky , The Audio Mastering Handbook , σελ 4

επίπεδο διαμόρφωσης του τελικού άλμπουμ όσο και της ηχητικής τελειοποίησης του καθενός κομματιού ξεχωριστά. Αναλαμβάνει δηλαδή:³⁷

- την ομοιογενή ως προς το τόνο, την ένταση και το χρόνο μετατροπή μίας συλλογής μουσικών κομματιών σε ένα δίσκο.
- την επεξεργασία, ώστε να αποδίδεται η αρχική αίσθηση του μουσικού υλικού σε όσο το δυνατόν περισσότερα είδη στερεοφωνικών συστημάτων.
- την αφαίρεση των μη επιθυμητών παραμορφώσεων του ήχου, όπως clicks, θόρυβο βάθους, dc offset.
- την αισθητική τελειοποίηση μέσω της εφαρμογής εφέ, όπως η διεύρυνση της στερεοφωνικής εικόνας, η πρόσθεση περισσότερου χώρου, η προσθήκη delays.

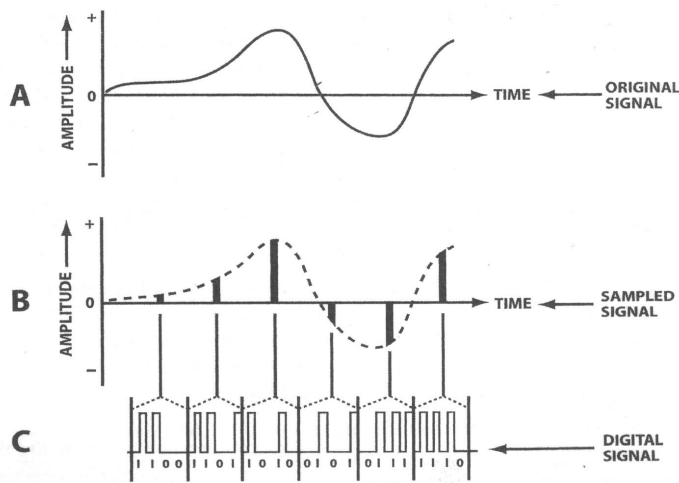
Επιδίωξη των ανωτέρω δράσεων είναι το τελικό αποτέλεσμα να είναι άρτιο για τον ακροατή και ταυτόχρονα ανταγωνιστικό για τη μουσική βιομηχανία.

2.2. Ψηφιακή μορφή του ήχου

Στη σύγχρονη μουσική βιομηχανία η τόσο επεξεργασία όσο και το μέσο διάδοσης της μουσικής (CD, DVD, mp3, wav) έχει ψηφιακή μορφή. Το ακουστικό κύμα αποτελείται από μη πεπερασμένο αριθμό σημείων, τα οποία κωδικοποιούνται από τον άνθρωπο σε ηχητική πληροφορία. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος έχοντας και αυτός πεπερασμένα όρια αντίληψης του ήχου με χαρακτηριστικότερο την ακουστική του έκταση, η οποία τοποθετείται στα 20 Hz με 20 KHz. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι παρόλο που η πληροφορία είναι συνεχής, δε μπορεί να τη κωδικοποιήσει ολόκληρη. Η πεπερασμένη αντιληπτική ικανότητα του ανθρώπου βρίσκει πρόσφορο έδαφος στη ψηφιοποίηση του σήματος μέσω της δειγματοληψίας. Το συνεχές ακουστικό σήμα χωρίζεται σε τεμάχια / κβάντα, τα οποία εν συνεχεία αποθηκεύονται ως ψηφία σε δυαδική μορφή. Η συχνότητα με την οποία χωρίζεται το σήμα ονομάζεται συχνότητα

³⁷ Bob Owsinsky , The Audio Mastering Handbook , σελ 4

δειγματοληψίας και έχει καθιερωθεί ως πρότυπο στην μουσική βιομηχανία η τιμή των 44100 Hz. Ο λόγος που έχει επιλεγεί η συγκεκριμένη τιμή οφείλεται σε ένα θεώρημα των Harry Nyquist και Claude E. Shannon, σύμφωνα με το οποίο πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον δύο σημεία ανά ηχητικό κύκλο προκειμένου να υπάρχει επαρκής πληροφορία, η οποία μπορεί να γίνει αντιληπτή από τον άνθρωπο κατά τη μετατροπή της σε αναλογικό σήμα. Επομένως, η ελάχιστη δυνατή συχνότητα δειγματοληψίας σύμφωνα με αυτό το θεώρημα είναι τα $20000 \text{ Hz} * 2 = 40000 \text{ Hz}$. Το επιπλέον περιθώριο των 4100 Hz έχει δοθεί ως περιθώριο ασφαλείας προς αποφυγήν ψηφιακών σφαλμάτων που υπεισέρχονται στο σήμα όταν αυτό ξεπερνά το μισό της συχνότητας δειγματοληψίας (aliasing).³⁸



Σχήμα 2.1 – Επιλογή στάθμων κατά την ψηφιοποίηση ακουστικού σήματος.³⁹

2.2.1. Πλάτος σήματος στα ψηφιακά συστήματα ήχου

Το αναλογικό σήμα όμως δεν είναι συνεχές μόνο στο χρόνο αλλά και στο πλάτος. Αυτό συνεπάγεται ότι σε κάθε κύκλο της συχνότητας δειγματοληψίας κατά την οποία επιλέγεται ένα δείγμα ήχου, πρέπει να καταχωρηθεί μία τιμή η οποία έχει άπειρες

³⁸ Bob Owsinsky, The Audio Mastering Handbook σελ 8 έως 10

³⁹ Bob Owsinsky, The Audio Mastering Handbook σελ 11

πιθανές ενδιάμεσες στάθμες (πχ 17.000000089 dB) σε ένα πεπερασμένο αριθμό πιθανών στάθμεων. Ο αριθμός των πιθανών στάθμεων που δύναται να λάβει ένα αναλογικό σήμα κατά την ψηφιοποίησή του ονομάζεται ανάλυση. Η στρογγυλοποίηση την οποία υφίσταται το σήμα κατά την αναγωγή του σε ψηφιακό ονομάζεται κβαντοποίηση. Επειδή το ψηφιακό σύστημα έχει δύο πιθανές καταστάσεις, το 0 και το 1, η ανάλυση μετριέται ως ο εκθέτης του 2 και μετριέται σε bit. Ένα σήμα για παράδειγμα που έχει ανάλυση 4 bit, έχει $2^4 = 16$ πιθανές τιμές στάθμεων.⁴⁰

Το πρότυπο που έχει καθιερωθεί για το CD για την ανάλυση σήματος είναι τα 16 bit, τα οποία αντιστοιχούν σε 65.536 τιμές πιθανών στάθμεων = 32768 μέγιστη τιμή πλάτους καθώς το ακουστικό κύμα είναι διπολικό. Προκειμένου να γίνει εισαγωγή της στάθμης dB στο ψηφιακό κόσμο έχει οριστεί ως η μέγιστη στάθμη που δύναται να καταχωρηθεί για ένα σήμα ως 0. Το 0 ως μέγιστη τιμή υποδεικνύει ότι δε μπορεί να υπάρξει θετική τιμή στην FS (full scale) κλίμακα καθώς αυτό σημαίνει ότι όταν το σήμα υπερβεί τη μέγιστη τιμή θα καταχωρηθεί ως 0. Εάν παρατηρηθεί κατά την ηχογράφησή ενός σήματος ότι υπερβαίνει τη μέγιστη dBFS τιμή, η παραμόρφωση που θα έχει υποστεί το σήμα θα παραμείνει ακόμα και αν ελαττωθεί το πλάτος του.⁴¹

Η κλίμακα των dB στα ψηφιακά συστήματα δίνεται από τον τύπο

$$\text{dBFS} = 20 (\log 0 - \log \text{FSv}) = -20 \log \text{FSv} \quad \text{Εξίσωση 2.1}$$

όπου FSv είναι η τρέχουσα τιμή πλάτους στη full scale κλίμακα. Από τα ανωτέρω προκύπτει ότι το εύρος εντάσεων σε ένα 16-bit ψηφιακό σύστημα ισούται με $20 \log 65536 = 96 \text{ dBFS}$. Αντίστοιχα το δυναμικό εύρος ενός 24-bit συστήματος είναι $20 \log 16777216 = 144 \text{ dBFS}$.

Οι τιμές αυτές είναι θεωρητικές τιμές εύρους και λόγω τεχνικών δυσκολιών ελαττώνονται στα 90 dB για τα 16 Bit και στα 115 έως 120 για τα 24-bit. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι μέγιστο μη παραμορφωμένο σήμα που μπορεί να αναπαραχθεί από ένα

⁴⁰ Μήνως Φιτσανάκης, Mastering, σελ 15 έως 17

⁴¹ Bob Katz, Mastering Audio, σελ 72

σύστημα 16-bit θα έχει μέγιστο 90 dB. Αυτός είναι και ο λόγος που τα επαγγελματικά studio χρησιμοποιούν ανάλυση 24-bit.⁴²

Σύμφωνα με τα όσα ειπώθηκαν ανωτέρω, ένας τεχνικός mastering εάν ήθελε να δώσει τη μέγιστη ηχητική στάθμη στο κομμάτι που επεξεργάζεται, θα επεδίωκε να αυξήσει τη συνολική ένταση του ήχου μέχρι το peak του κομματιού να φτάσει την τιμή των 0 dBFS, μία διαδικασία η οποία ονομάζεται κανονικοποίηση. Ωστόσο, ως διαδικασία θα έπρεπε να χρησιμοποιείται με εξαιρετική φειδώ, καθότι κατά την αύξηση της στάθμης σε ένα ψηφιακό σύστημα θα συμβαίνουν πλήθος στρογγυλοποιήσεων. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρει ο καταξιωμένος τεχνικός του mastering Bob Katz *«οποιαδήποτε ψηφιακή επεξεργασία κοστίζει κάτι σε όρους ποιότητας του ήχου, παρόλο που θεωρητικά είναι μία γενιά μπροστά μεταφέρει το σήμα μία γενιά πίσω»* Σύμφωνα πάντα με τον ίδιο *«δεν είναι το πόσο δυνατά θα ακούγεται αλλά το πώς θα το κάνεις να ακούγεται δυνατά»*.⁴³

Όπως θα αναλυθεί ακολούθως, η τέχνη της ορθής έντασης στην οποία οφείλει να ακούγεται ένα ηχητικό απόσπασμα, διαμορφώνεται μέσω εξειδικευμένων εργαλείων για αυτή τη δουλειά, τους δυναμικούς επεξεργαστές ήχου.

2.3 Δυναμική επεξεργασία σήματος

2.3.1 Ο όρος «δυναμική»

Ο όρος «δυναμική» έχει επικρατήσει στην καθημερινή ορολογία για να τονίσει οποιαδήποτε κατάσταση βρίσκεται σε συνεχή εξέλιξη όπως για παράδειγμα *«δυναμική μεταβολή του οικονομικού και κοινωνικού περιβάλλοντος»*. Ο όρος «δυναμικό» στη μουσική τεχνολογία αναφέρεται σε δύο διαφορετικές ορολογίες, οι οποίες έχουν κοινό τόπο αναφοράς. Η δυναμική επεξεργασία σήματος αναφέρεται⁴⁴:

⁴² Μήνως Φιτσανάκης, Mastering, σελ 17

⁴³ Bob Owsinsky, The Audio Mastering Handbook, σελ 41

⁴⁴ Curtis Roads, Computer Music Tutorial, σελ 340 έως 344 και 390 έως 397

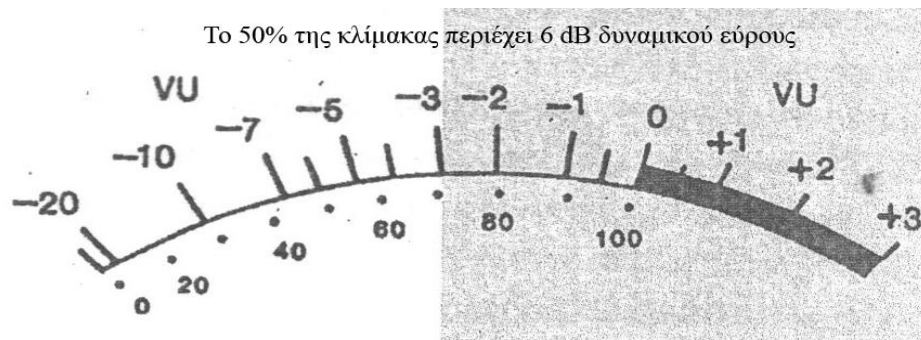
- στην διαρκή μεταβολή μίας παραμέτρου, η οποία σχετίζεται με οποιονδήποτε τρόπο με το ακουστικό σήμα,
- στην επεξεργασία της έντασης του ακουστικού σήματος,

άρα δύναται να ειπωθεί ότι η πρώτη περίπτωση αποτελεί ένα υπερσύνολο του όρου «δυναμικές» που έχει επικρατήσει στη μουσική τεχνολογία και αναφέρεται στην ένταση του ήχου ή το συνεχώς μεταβαλλόμενο χρονικά πλάτος του. Η διάκριση ανάμεσα στις δύο διαφορετικές αυτές ορολογίες έγινε καθότι, όπως θα αναλυθεί ακολούθως, οι όροι αυτοί συγχέονται όταν γίνεται αναφορά στη «δυναμική επεξεργασία».

2.3.2 Μέτρηση της έντασης

Η ακριβής μέτρηση της έντασης είναι από τα σημαντικότερα ζητήματα κατά τη διάρκεια του Mastering, καθώς ένας από τους τελικούς σκοπούς της διαδικασίας είναι η ακουστότητα ενός κομματιού σε συνάρτηση με τα υπόλοιπα κομμάτια του δίσκου αλλά και ως αυτόνομη μονάδα. Οι μετρητές έντασης διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με το αν η επεξεργασία του σήματος είναι αναλογική ή ψηφιακή.

Στην αναλογική επεξεργασία και μέτρηση του σήματος χρησιμοποιείται ο VU μετρητής. Ο VU μετρητής ανιχνεύει την RMS ένταση του ήχου, δηλαδή τη μέση ένταση η οποία προσεγγίζει την ακουστότητα που αντιλαμβάνεται ο ακροατής. Το βασικότερο μειονέκτημα του VU μετρητή είναι ότι δεν υποδεικνύει τα απότομα μέγιστα της κυματομορφής. Επίσης, η κλίμακα μέτρησης είναι μη γραμμική και επειδή ο δείκτης σπάνια δείχνει κάτω από τα -6 VU δημιουργείται εύκολα η παρανόηση ότι ο «κύριος όγκος» του σήματος υπάρχει μεταξύ των -6 VU και + 3 VU, κάτι το οποίο δεν αντιστοιχεί στη πραγματικότητα εκτός και αν το σήμα είναι υπερσυμπιεσμένο.



Σχήμα 2.2 – VU μετρητής και η μη γραμμικότητα της κλίμακας.

Στις ψηφιακές διατάξεις ήχου χρησιμοποιείται η κλίμακα dBFS, όπως περιγράφηκε ανωτέρω. Το μειονέκτημα της ψηφιακής κλίμακας είναι ότι δείχνει τη διακύμανση της έντασης ανά δείγμα ήχου κάτι το οποίο βοηθάει ως προς την αντίληψη των δειγμάτων ήχου που είναι πολύ κοντά στη μέγιστη ένταση των dBFS αλλά ταυτόχρονα η ένταση που παρατηρείται στο μετρητή δεν προσεγγίζει την ανθρώπινη αίσθηση της ακοής όπως ο VU μετρητής.⁴⁵

2.3.3 Δυναμικό εύρος

Όπως αναφέρθηκε στην ιστορική αναδρομή, το Mastering από την αρχή της γέννησής του ήταν άρρηκτα συνδεδεμένο με την δυναμική επεξεργασία του μουσικού υλικού. Ο ορισμός δυναμικό εύρος αναφέρεται στη διαφορά μεταξύ της χαμηλότερης και της υψηλότερης δυναμικής που εμφανίζεται μέσα στο ηχητικό υλικό. Συνήθως, στην εμπορική μουσική το δυναμικό εύρος είναι της τάξεως των 10 dB ενώ σε σπάνιες περιπτώσεις μπορεί να είναι μόνο 1 dB.⁴⁶

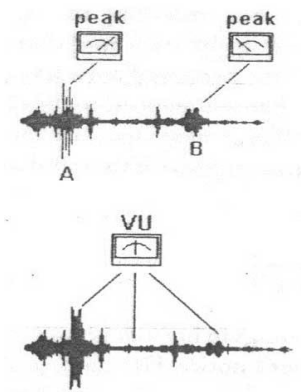
Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης περιορισμού του δυναμικού εύρους είναι κατά την ηχογράφηση ενός οργάνου με «απρόβλεπτο» δυναμικό εύρος, όπως η φωνή ή το σαξόφωνο (εν αντιθέσει πχ με το πιάνο, το οποίο έχει πιο προβλέψιμο δυναμικό εύρος). Η ένταση παρατηρείται από τον μηχανικό ήχου μέσω του VU meter, το

⁴⁵ Bob Katz, Mastering Audio, σελ 68 έως 69

⁴⁶ Bob Katz, Mastering audio the art and the science σελ 113

οποίο μετράει την rms ένταση του ήχου και έως εκ τούτου δε μπορεί να παρατηρήσει πολύ σύντομες και απότομες διακυμάνσεις της έντασης (peaks στην αγγλική ορολογία).

Στο Σχήμα 2.3 παρατηρείται η προσμετρώμενη ένταση των peaks (πάνω σχήμα) και η αντίστοιχη ένταση του VU meter (κάτω σχήμα). Η τιμή των peaks μπορούν να έχουν τιμή μέχρι και 14 dB πάνω από την rms ένταση του ήχου. Σε αυτές τις περιπτώσεις η εφαρμογή κάποιου τύπου «περιοριστή δυναμικού εύρους» είναι επιβεβλημένη, ώστε αν ο τραγουδιστής ξεπεράσει το μέγιστο επιτρεπτό όριο πάνω από το οποίο παραμορφώνει η ένταση, ο «περιοριστής δυναμικού εύρους» να επεμβαίνει κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να χαμηλώνει τις υψηλές εντάσεις λίγο πριν φτάσουν στο ανώτατο όριο χωρίς ταυτόχρονα να παραμορφώνει το σήμα.⁴⁷



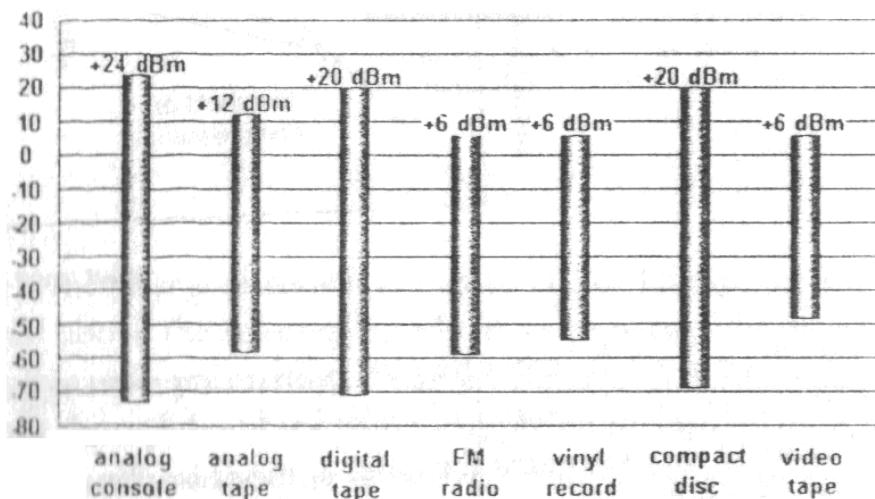
Σχήμα 2.3 – Πλάτος της κυματομορφής του ηχητικού αποσπάσματος (πάνω σχήμα) και η αντίστοιχη ένταση σε rms (κάτω σχήμα).⁴⁸

Το δυναμικό εύρος της μουσικής είναι της τάξεως των 120 dB. Το ψηφιακό μέσο όταν έχει ανάλυση 16-bit έχει δυναμικό εύρος περίπου 90 dB, ενώ στα 24-bit 120 dB όπως εξηγήθηκε στο ανωτέρω. Το δυναμικό εύρος της αναλογικής μαγνητικής ταινίας είναι της τάξεως των 60 db και με τη χρήση αποθορυβοποιητών δύναται να αυξηθεί άλλα 15 έως 30 dB. Αντίστοιχα, σε μία ραδιοφωνική εκπομπή FM σήματος λαμβάνει τιμές από 40 έως 50 dB, ενώ για AM σήμα 20 έως 30 dB. Όπως παρατηρείται, υπάρχει μία τεράστια ποικιλία ορίων που δύναται να λάβει το δυναμικό εύρος ανάλογα με το μέσο

⁴⁷ Huber & Runstein, Modern Recording Techniques, σελ 359

⁴⁸ Huber & Runstein, Modern Recording Techniques, Σχήμα 11.14

στο οποίο γίνεται η επεξεργασία του. Κατά αυτόν το τρόπο πρέπει να υπάρχει ένα αντίστοιχο μέσο το οποίο να κάνει δυνατή τη προσαρμογή ανάμεσα σε διαφορετικά μέσα μετάδοσης, λήψης, αποθήκευσης της ηχητικής πληροφορίας, με γνώμονα πάντα τον τελικό αποδέκτη που είναι ο ακροατής σε σχέση με το περιβάλλον του. Για παράδειγμα, σε ένα τυπικό σπίτι ο θόρυβος βάθους είναι της τάξεως των 45 dB. Ο ακροατής χρειάζεται να ακούει με ευκολία τα ηχητικά αποσπάσματα χαμηλής έντασης χωρίς ταυτόχρονα να ακούει πολύ δυνατά τα ηχητικά αποσπάσματα που έχουν υψηλή ένταση. Ο έλεγχος αυτός του δυναμικού εύρους υλοποιείται συνήθως με αυτοματοποιημένες μεθόδους μέσω ειδικών διατάξεων που αποκαλούνται δυναμικοί επεξεργαστές.⁴⁹



Σχήμα 2.4 - Ενδεικτικές τιμές δυναμικού εύρους διαφορετικών μέσων μετάδοσης αποθήκευσης και επεξεργασίας της ηχητικής πληροφορίας εκφρασμένες σε dBm.⁵⁰

Αύξηση του δυναμικού εύρους πραγματοποιείται στο μουσικό υλικό προκειμένου να προσδώσει περισσότερη διαφοροποίηση στις δυναμικές και κατ' επέκταση ενθουσιώδη αίσθηση μέσα στο κομμάτι ή λιγότερη διαφοροποίηση και περισσότερη μονοτονία. Το κλειδί στην υπόθεση δυναμική ισορροπία για έναν τεχνικό ήχου, είναι η ισορροπία μεταξύ της αίσθησης του ενθουσιασμού και της μονοτονίας μείωση του δυναμικού εύρους στη μουσική τεχνολογία αναφέρεται ως συμπίεση (compression), ενώ

⁴⁹ Huber & Runstein, *Modern Recording Techniques*, σελ 361 έως 362

⁵⁰ Huber & Runstein, *Modern Recording Techniques*, Σχήμα 11.17

η αύξηση ως επέκταση (expansion).Υπάρχουν τέσσερις τρόποι επεξεργασίας του δυναμικού εύρους:⁵¹

- Η «συμπίεση προς τα κάτω» είναι η διαδικασία κατά την οποία οι πιο υψηλές δυναμικές του σήματος, συμπιέζονται προς τα κάτω. Υλοποιείται μέσω ειδικών μηχανικών ή ψηφιακών διατάξεων τους συμπιεστές σήματος ή κατά την πιο λαοφιλή προσφώνηση «κομπρέσορες», καθότι έχει επικρατήσει η αγγλική ορολογία compression στον ελληνικό μουσικο-τεχνολογικό χώρο για τη περιγραφή της μείωσης του δυναμικού εύρους. Μία ειδική περίπτωση διάταξης συμπίεσης είναι ο limiter, όπου η διαδικασία της εξασθένησης των υψηλών δυναμικών υλοποιείται στις στάθμες που είναι πολύ κοντά στο μέγιστο και με εξαιρετικά υψηλό ρυθμό. Η «συμπίεση προς τα κάτω» είναι η πιο δημοφιλής τεχνική δυναμικής επεξεργασίας.
- Η «συμπίεση προς τα πάνω» είναι η αντίθετη διαδικασία ελάττωσης του δυναμικού εύρους κατά την οποία οι χαμηλές στάθμες του σήματος αυξάνονται, ενώ οι υψηλές στάθμες παραμένουν αναλλοίωτες. Η «συμπίεση προς τα πάνω» χρησιμοποιείται από ραδιοφωνικούς παραγωγούς που θέλουν να ενισχύσουν τα πιο χαμηλά περάσματα του ήχου.
- Η «επέκταση προς τα πάνω» ισοδυναμεί με ενίσχυση των υψηλών δυναμικών του ήχου. Χρησιμοποιείται αν και σπάνια για να προσδώσει περισσότερο δυναμισμό σε ένα κομμάτι ή να ανακτήσει τις δυναμικές που ελαττώθηκαν λόγω των πολλαπλών επεξεργασιών. Ένα παράδειγμα δυναμικού επεξεργαστή τέτοιου τύπου είναι ο DBX Quantum Processor.
- Η «επέκταση προς τα κάτω» ελαττώνει τις χαμηλές δυναμικές. Πραγματοποιείται για την αποκοπή ανεπιθύμητων θορύβων και ατελειών του ήχου. Ένα από τα πιο κλασσικά παραδείγματα ηχητικών διατάξεων που εφαρμόζει «επέκταση προς τα κάτω» είναι το noise gate, το οποίο χρησιμοποιείται στο Mastering για αποθορυβοποίηση.⁵²

⁵¹ Bob Katz , Mastering audio the art and the science σελ 114

⁵² Bob Katz , Mastering audio the art and the science σελ 115

2.3.4 Μακροδυναμική και μικροδυναμική επεξεργασία του σήματος

Ανωτέρω αναλύθηκε η ανάγκη προσαρμογής του δυναμικού εύρους της ηχητικής πληροφορίας ανάλογα με τα μέσα μετάδοσης, αποθήκευσης και επεξεργασίας. Πέραν της προσαρμογής του δυναμικού εύρους με απώτερο σκοπό την όσο το δυνατόν πιο πιστή λήψη του σήματος από τον ακροατή, η προσαρμογή του δυναμικού εύρους πραγματοποιείται και για αισθητικούς λόγους. Για να εξηγηθούν οι μέθοδοι διαχείρισης του δυναμικού εύρους της μουσικής και ευρύτερα του ήχου που αποσκοπούν στη αισθητική αρτιότητα, οι δυναμικές διαιρούνται σε δύο κατηγορίες τις μακροδυναμικές και τις μικροδυναμικές. Με τον όρο μακροδυναμικές γίνεται αναφορά στη δυναμική μεταβολή της ηχητικής έντασης σε μακροδομικό επίπεδο, όπως αυτή παρουσιάζεται από την παράθεση διαφορετικών μερών ενός μουσικού κομματιού και την αυξομείωση της έντασης όπως το *crescendos* και τα *decrescendos*. Άλλη εφαρμογή μακροδυναμικής επεξεργασίας είναι η αυξομείωση της έντασης μεταξύ των κομματιών.

Καθώς το αισθητήριο όργανο της ακοής έχει τη τάση να προσαρμόζεται στην ένταση του ήχου, πρέπει οι δυναμικές που εμφανίζονται κατά τις εναλλαγές των κομματιών να έχουν ως σημείο αναφοράς τη προηγούμενη προσληφθείσα ένταση. Εάν για παράδειγμα το δυναμικό εύρος μίας συλλογής κομματιών είναι της τάξεως των 25 dB, δεν πρέπει το ισχυρότερο ηχητικά πέρασμα να εμφανίζεται αμέσως μετά το ασθενέστερο, καθότι δημιουργεί την αίσθηση της ασυνέχειας στον ακροατή (εκτός και αν δικαιολογείται αισθητικά από τον ίδιο τον συνθέτη). Η μετάβαση πρέπει να πραγματοποιηθεί κατόπιν σταδιακής αυξομείωσης της έντασης του ήχου.⁵³

Η ίδια αρχή εφαρμόζεται και μεταξύ διαφορετικών μερών στο ίδιο κομμάτι, καθότι ο τεχνικός ήχου που αναλαμβάνει τη μίξη αδυνατεί σε πολλές περιπτώσεις να έχει την πλήρη εικόνα των μακροδομικών εντάσεων τη στιγμή που ο ίδιος εστιάζει κυρίως στις μικροδομικές αλλαγές του κομματιού. Οι μακροδυναμικές παρεμβάσεις πραγματοποιούνται χειροκίνητα από τον συνθέτη, τον ηχολήπτη, τον μουσικό παραγωγό για να διαχειριστεί το μουσικό υλικό του σε μακροδομική χρονικά κλίμακα.⁵⁴

⁵³ Bob Katz , *Mastering audio the art and the science* σελ 113 έως 114

⁵⁴ Bob Katz , *Mastering audio the art and the science* σελ 115

Η μικροδυναμική επεξεργασία του μουσικού υλικού είναι υπεύθυνη για τις παρεμβάσεις στις δυναμικές εναλλαγές της έντασης που πραγματοποιούνται στο ελάχιστο χρονικά αντιληπτό από το αισθητήριο όργανο ακοής επίπεδο (της τάξεως συνήθως λίγων msec). Οι παρεμβάσεις αυτές είναι πρακτικά αδύνατο και χρονικά ασύμφορο να πραγματοποιηθούν χειροκίνητα, για το λόγο αυτό και χρησιμοποιούνται αυτοματοποιημένες μέθοδοι μέσω των δυναμικών επεξεργαστών. Ο μηχανικός ήχου που χρησιμοποιεί το δυναμικό επεξεργαστή δύναται να μετατρέψει το ηχητικό υλικό σε πιο εκφραστικό, πιο «παχύ», πιο ρυθμικό καθώς επίσης και συναφές σε συνδυασμό πάντα με τα προηγούμενα κομμάτια του δίσκου. Επίσης, οι δυναμικοί επεξεργαστές δίνουν τη δυνατότητα στο τεχνικό ήχου να μειώσει το δυναμικό εύρος του ηχητικού υλικού με συνεπακόλουθη δυνατότητα να αυξήσουν την ένταση του σήματος.⁵⁵

2.3.5 Διαμόρφωση πλάτους

Ο δυναμικός επεξεργαστής του ήχου είναι μία διάταξη που μπορεί να παρομοιαστεί με ένα αυτόματο δρομέα αυξομείωσης του ήχου (ή κατά την επικρατούσα αγγλική ορολογία fader). Η χρήση της αυτοματοποιημένης αυξομείωσης της έντασης χρησιμοποιείται ευρέως στην επεξεργασία ή και την σύνθεση ήχου. Η κατανόηση των φαινομένων που επιφέρει ο συμπίεστης ήχου στο σήμα απαιτεί την εξήγηση της τεχνικής σύνθεσης ήχου, που είναι γνωστή ως διαμόρφωση πλάτους.⁵⁶

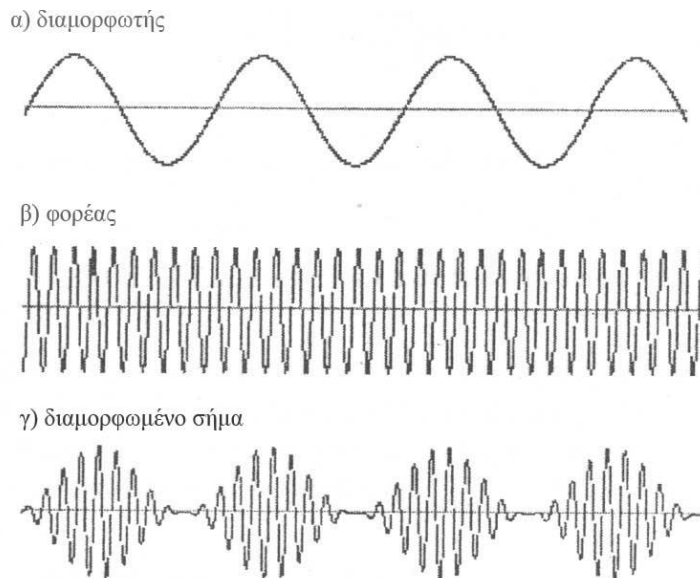
Η διαμόρφωση συμβαίνει όταν κάποια παράμετρος του ενός σήματος που ονομάζεται φορέας, μεταβάλλεται από ένα άλλο σήμα που ονομάζεται διαμορφωτής. Διαμόρφωση πλάτους συμβαίνει όταν η παράμετρος που μεταβάλλεται στο φορέα είναι το πλάτος. Η χρήση αυτής της τεχνικής έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα από τις αρχές της ηλεκτρονικής μουσικής (ένας από τους πρωτοπόρους της ηλεκτρονικής μουσικής που χρησιμοποίησαν αυτή τη μέθοδο είναι και ο Karlheinz Stockhausen) τόσο για τη

⁵⁵ Bob Katz , Mastering audio the art and the science σελ 113 έως 114

⁵⁶ Huber & Runstein, Modern Recording Techniques, σελ 362

σύνθεση νέων ήχων μέσω της διαμόρφωσης ταλαντωτών (πχ ημιτονοειδών), όσο και για την δημιουργική παραμόρφωση προηχογραφημένου υλικού.⁵⁷

Η πιο απλή χρήση της διαμόρφωσης πλάτους είναι το τρέμολο, μία τεχνική που εφαρμόζεται ευρέως σε μία πληθώρα οργάνων με ποιο χαρακτηριστική ίσως αυτή της κιθάρας. Σε πολλά μοντέλα κιθάρας υπάρχει ένας ειδικός μοχλός, ο οποίος όταν κινείται παλινδρομικά μεταβάλλει την ένταση του ήχου. Υπάρχουν επίσης ειδικές ηλεκτρονικές και ψηφιακές διατάξεις που δημιουργούν τρέμολο με αυτόματοποιημένο τρόπο. Στο τρέμολο το πλάτος του φορέα – όπου ο φορέας αποτελείται από ένα συνθετικό ή μη συνθετικό ήχο – διαμορφώνεται από μία συχνότητα, η οποία έχει εύρος τιμών από 0 έως 18 Hz. Στο ακόλουθο σχήμα παρατηρείται σχηματικά η διαμόρφωση πλάτους ενός ημιτονοειδούς φορέα από έναν ημιτονοειδή διαμορφωτή.



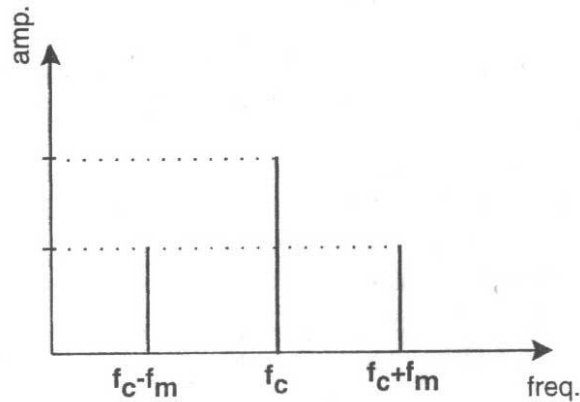
Σχήμα 2.5 – Διαμόρφωση πλάτους δύο ημιτονοειδών.⁵⁸

Όπως παρατηρείται από το Σχήμα 2.5, μεταβάλλεται μόνο η περιβάλλουσα του ήχου δηλαδή το σχήμα του ενώ το ίδιο το σήμα της ημιτονοειδούς και κατ' επέκταση η χροιά του παραμένει αναλλοίωτη με μόνη αλλαγή την περιοδικά μεταβαλλόμενη έντασή του. Εάν η συχνότητα του διαμορφωτή είναι μεγαλύτερη από τα 18 Hz και έως εκ τούτου

⁵⁷ Eduardo Reck Miranda, Computer Sound Design, σελ 20

⁵⁸ Eduardo Reck Miranda, Computer Sound Design, σχήμα 2.2

ανήκει στο ακουστικό φάσμα, τότε δύο επιπλέον αρμονικοί θα υπεισέρχονται στο σήμα η $f_c - f_m$ και η $f_c + f_m$. Στο ακόλουθο σχήμα παρατηρείται το φάσμα του ήχου μίας απλής ημιτονοειδούς f_c που έχει διαμορφωθεί από μία ημιτονοειδή f_m .⁵⁹



Σχήμα 2.6 – Κλασική διαμόρφωση πλάτους με συχνότητα μεγαλύτερη των 18 Hz.⁶⁰

Όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, η διαμόρφωση πλάτους υλοποιείται με αυτοματοποιημένο τρόπο. Ο όρος «αυτοματοποιημένο» παραπέμπει στον εξαιρετικά περιορισμένο ή ακόμα και μηδαμινό ρόλο που κατέχει ο χρήστης στη διαδικασία της διαμόρφωσης πλάτους. Οι αυτοματοποιημένες τεχνικές διαμόρφωσης του ήχου χρησιμοποιούνται ευρέως στη παραγωγή μουσικής καθότι έδινε τη δυνατότητα στο χρήστη να εκτελέσει κινήσεις και πράξεις που υπό άλλες συνθήκες θα ήταν εξαιρετικά χρονοβόρες ή ακόμα και αδύνατον να πραγματοποιηθούν. Σχεδόν όλες οι μονάδες επεξεργασίας του ήχου έχουν αυτοματισμούς, οι οποίοι διαφοροποιούνται ως προς τη μέθοδο (για παράδειγμα διαμόρφωση μέσω ημιτονοειδούς) και τη παράμετρο ή τις παραμέτρους στις οποίες εφαρμόζονται. Το flanger για παράδειγμα δεν είναι παρά μία μονάδα καθυστέρησης της οποίας ο χρόνος καθυστέρησης μεταβάλλεται αυτοματοποιημένα μέσω μίας ημιτονοειδούς κυματομορφής.⁶¹

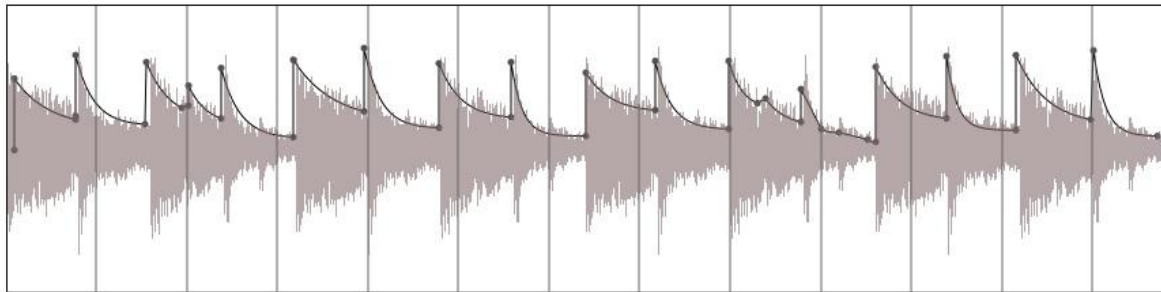
Μία άλλη επίσης διαδεδομένη αυτοματοποιημένη τεχνική με την οποία ελέγχονται δυναμικά παράμετροι που σχετίζονται με τον ήχο είναι οι ακολουθητές

⁵⁹ Eduardo Reck Miranda, Computer Sound Design, σελ 21

⁶⁰ Eduardo Reck Miranda, Computer Sound Design, σχήμα 2.3

⁶¹ Curtis Roads, The Computer Music Tutorial, σελ 857 έως 862

περιβάλλουσας (envelope follower). Οι ακολουθητές περιβάλλουσας ανιχνεύουν συνήθως την RMS ένταση του ακουστικού κύματος ανά χρονική περίοδο t και ενώνουν τα ενδιάμεσα σημεία. Το εξαγόμενο αποτέλεσμα χρησιμοποιείται κατόπιν για να αυξομειώσει την επιθυμητή παράμετρο. Διαδεδομένες χρήσεις του ακολουθητή πλάτους στη μουσική βιομηχανία είναι το δυναμικό φίλτρο, όπου η συχνότητα αποκοπής ελέγχεται από τον ακολουθητή περιβάλλουσας και οι αυξομειώσεις πλάτους ορίζουν ανάλογες αυξομειώσεις έντασης, το vocoder και κυρίως οι δυναμικοί επεξεργαστές σήματος. Στο επόμενο σχήμα διακρίνεται ένας ακολουθητής περιβάλλουσας εφαρμοζόμενος σε ένα αρχείο ήχου κρουστών.⁶²



Σχήμα 2.7 – Ακολουθητής περιβάλλουσας (διακρίνεται από τη μαύρη γραμμή).

Η δυναμική επεξεργασία του ήχου δεν είναι παρά μία αυτοματοποιημένη διαμόρφωση του πλάτους που δημιουργείται από έναν ακολουθητή περιβάλλουσας, ο οποίος με τη σειρά του ελέγχει την συνολική ένταση του σήματος. Σε αντίθεση με το δυναμικό φίλτρο όπου παρατηρούνται ανάλογες αυξομειώσεις της συχνότητας αποκοπής με την ένταση του διαμορφωτή και για όλο το δυναμικό του εύρος, στους δυναμικούς επεξεργαστές η αυξομείωση της έντασης ενεργοποιείται πάνω ή κάτω από μία τιμή που έχει οριστεί (άρα σε περιορισμένο δυναμικό εύρος) και με μη ανάλογο τρόπο, όπως θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

⁶² Curtis Roads, The Computer Music Tutorial, σελ 863

2.3.6 Crest factor



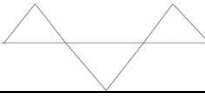
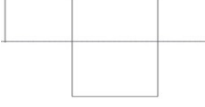

Μία μέθοδος μέτρησης της συμπίεσης που έχει υποστεί το σήμα είναι η τιμή του crest factor. Ως crest factor ορίζεται το πηλίκο ανάμεσα στη μέγιστη στιγμιαία τιμή που λαμβάνει το πλάτος του σήματος σε μία χρονική περίοδο t προς την RMS τιμή πλάτους στην αντίστοιχη χρονική περίοδο:

$$C.F. = \frac{|X|_{peak}}{X_{RMS}} \quad \text{εξίσωση 2.2}$$

όπου C.F. η τιμή του crest factor, $|X|_{peak}$ η απόλυτη μέγιστη τιμή που λαμβάνει το σήμα στη χρονική περίοδο t και X_{RMS} η RMS τιμή του πλάτους στην αντίστοιχη χρονική περίοδο. Η τιμή του X_{RMS} είναι απόλυτη καθώς οι peak τιμές του ακουστικού σήματος μπορούν να έχουν είτε θετική είτε αρνητική τιμή. Επίσης, η τιμή του crest factor δεν έχει μονάδες μέτρησης (αδιάστατο μέγεθος), εφόσον εκφράζει το πηλίκο δύο μεγεθών που μετρούνται με τις ίδιες μονάδες και οι οποίες εξαρτώνται από τη κλίμακα στην οποία έχουν μετρηθεί τα πλάτη X_{peak} και X_{RMS} (όπως dB, volt, pascal κκ.).

Από τα ανωτέρω, δύναται να καταρτιστεί ο ακόλουθος πίνακας που αντιστοιχεί σε τιμές crest factor πέντε διαφορετικών κανονικοποιημένων κυματομορφών. Όπως παρατηρείται, οι τιμές Crest Factor του ημιτόνου και του μισού ημιτόνου είναι ίσες καθώς η κυματομορφή του μισού ημιτόνου είναι ίδια με την αντίστοιχη ενός ολόκληρου ημιτόνου, εκφρασμένη όμως με απόλυτη τιμή. Ταυτόχρονα, παρατηρείται ότι η τετραγωνική κυματομορφή και η ευθεία έχουν crest factor = 0, αφού όλα τα σημεία που περιέχονται και στις δύο κυματομορφές ισούνται με 1 και έως εκ τούτου και η RMS τιμή των δύο κυματομορφών ισούται με 1.

Η τιμή του Crest Factor, όπως αναφέρθηκε, είναι αδιάστατο μέγεθος. Παρόλα αυτά, το Crest Factor εκφράζεται σε πολλά εγχειρίδια και σε dB, καθώς εφαρμόζεται ο τύπος εύρεσης των dB στο πηλίκο του Crest Factor για λόγους ευκολίας κατά τον υπολογισμό του. Πράγματι, αν το πηλίκο του Crest Factor εκφραστεί σε dB στην FS

Τύπος κύματος	Κυματομορφή	X_{peak}	X_{RMS}	Crest Factor
Ημίτονο		1	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\sqrt{2}$
Μισό ημίτονο		1	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\sqrt{2}$
Τριγωνική		1	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	$\sqrt{3}$
Τετραγωνική		1	1	1
Ευθεία		1	1	1

Πίνακας 2.1 – Τιμές crest factor απλών κυματομορφών.

κλίμακα, τότε θα ισχύει:

$$C.F._{dBFS} = 20 \cdot \log C.F. = \frac{20 \cdot \log |X|_{peak}}{20 \cdot \log X_{RMS}} \quad \text{εξίσωση 2.3}$$

Λόγω όμως των ιδιοτήτων των λογάριθμων ισχύει:

$$\frac{\log a}{\log b} = \log a - \log b \quad \text{εξίσωση 2.4}$$

οπότε προκύπτει:

$$C.F._{dBFS} = 20 \cdot \log |X|_{peak} - 20 \cdot \log X_{RMS} = dBFS_{peak} - dBFS_{RMS} \quad \text{εξίσωση 2.5}$$

Από τα ανωτέρω γίνεται κατανοητό ότι η τιμή του crest factor σε ένα ψηφιακό σύστημα δύναται να οριστεί ως η διαφορά ανάμεσα στη μέγιστη απόλυτη τιμή πλάτους που εμφανίζεται σε μία χρονική περίοδο t και την RMS ένταση στην αντίστοιχη χρονική περίοδο. Εάν, για παράδειγμα, το μέγιστο πλάτος που παρατηρείται σε ένα σήμα είναι -3 dBFS και η RMS ένταση του ήχου είναι -3 dBFS το crest factor για την αντίστοιχη χρονική περίοδο θα είναι 17 dBFS. Είναι σπάνιο να συναντήσει κανείς τιμή crest factor μεγαλύτερη από 20 dBFS. Επομένως, μικρότερη τιμή crest factor μεταξύ δύο κομματιών

σημαίνει μεγαλύτερη συμπίεση στον ήχο και μεγαλύτερη τιμή crest factor σημαίνει μικρότερη συμπίεση στον ήχο. Επομένως, από δύο τραγούδια που έχουν ίδιο Peak και διαφορετική τιμή Crest Factor συμπεραίνεται ότι το σήμα που έχει μικρότερη τιμή Crest Factor ακούγεται πιο δυνατά.⁶³

2.4 Δυναμικοί επεξεργαστές ήχου

Στις επόμενες παραγράφους θα γίνει αναλυτική παρουσίαση των δυναμικών επεξεργαστών ήχου που χρησιμοποιούνται στην διαδικασία του Mastering και την τεχνολογική τους εξέλιξη, ώστε να γίνει κατανοητή η επίδραση που είχαν στην άνοδο του crest factor τα τελευταία 30 χρόνια.

2.4.1 Συμπιεστής ήχου (compressor)

Ο πιο διαδεδομένος τύπος δυναμικού επεξεργαστή είναι ο συμπιεστής ήχου. Όταν η ένταση του σήματος εισόδου ξεπεράσει μία προκαθορισμένη τιμή έντασης, η οποία ονομάζεται *threshold* τότε η ένταση του σήματος εξόδου από τον συμπιεστή ήχου θα μειώνεται. Το ποσοστό μείωσης της έντασης της εξόδου σε κάθε αντίστοιχη τιμή εισόδου καθορίζεται από το *ratio* που εκφράζεται ως τιμή αναλογίας 1:n, όπου n η τιμή συμπίεσης της έντασης. Για παράδειγμα, εάν η τρέχουσα τιμή εισόδου τη χρονική στιγμή t1 της έντασης φέρει τη τιμή -10 dBFS, η τιμή *threshold* είναι -16 dBFS και το ratio 1:2 τότε μετά τα -16 dBFS το σήμα θα υποστεί συμπίεση και για κάθε μονάδα πλάτους η εξαγόμενη ένταση θα υποδιπλασιάζεται. Δηλαδή, από τα -10-(-16) = 6 dBFS το σήμα θα υποδιπλασιαστεί άρα θα μειωθεί κατά 3 dBFS. Συνεπώς, η τιμή εξόδου του πλάτους θα ισούταν με -13 dBFS τη χρονική στιγμή t1. Όπως γίνεται αντιληπτό, εάν το *threshold* έπαιρνε τη κατώτερη τιμή έντασης που εμφανίζεται στο σήμα, τότε το δυναμικό εύρος θα ισούταν με το ratio.

Η τιμή πλάτους εξόδου σε συνάρτηση με τη τιμή πλάτους εξόδου $f(x) = y$ όπου x η τιμή του πλάτους εισόδου και y η τιμή του πλάτους εξόδου, δίνεται από τη σχηματική

⁶³ http://rfdesign.com/mag/radio_crest_factor_analysis

παράσταση που ονομάζεται καμπύλη μετασχηματισμού (transfer curve). Η πιο απλή καμπύλη μετασχηματισμού είναι η απλή αύξηση πλάτους. Σε αυτήν η τιμή της εξόδου θα καθορίζεται αποκλειστικά και μόνο από τη τιμή του ratio. Στο ακόλουθο σχεδιάγραμμα παρουσιάζονται τρεις καμπύλες μεταφοράς. Μία καμπύλη η οποία αντιστοιχεί στην 1:1 αναλογία και έως εκ τούτου το πλάτος μένει ως έχει στην έξοδο, μία καμπύλη μεταφοράς που μετασχηματίζει το πλάτος αυξάνοντας το και μία καμπύλη με που ελαττώνει το πλάτος ανάλογα. Και στις τρεις περιπτώσεις όλες οι πιθανές στάθμες εισόδου της κάθε καμπύλης υπόκεινται την ίδια μεταβολή του πλάτους και αντιστοιχούν στο ratio της καμπύλης.⁶⁴

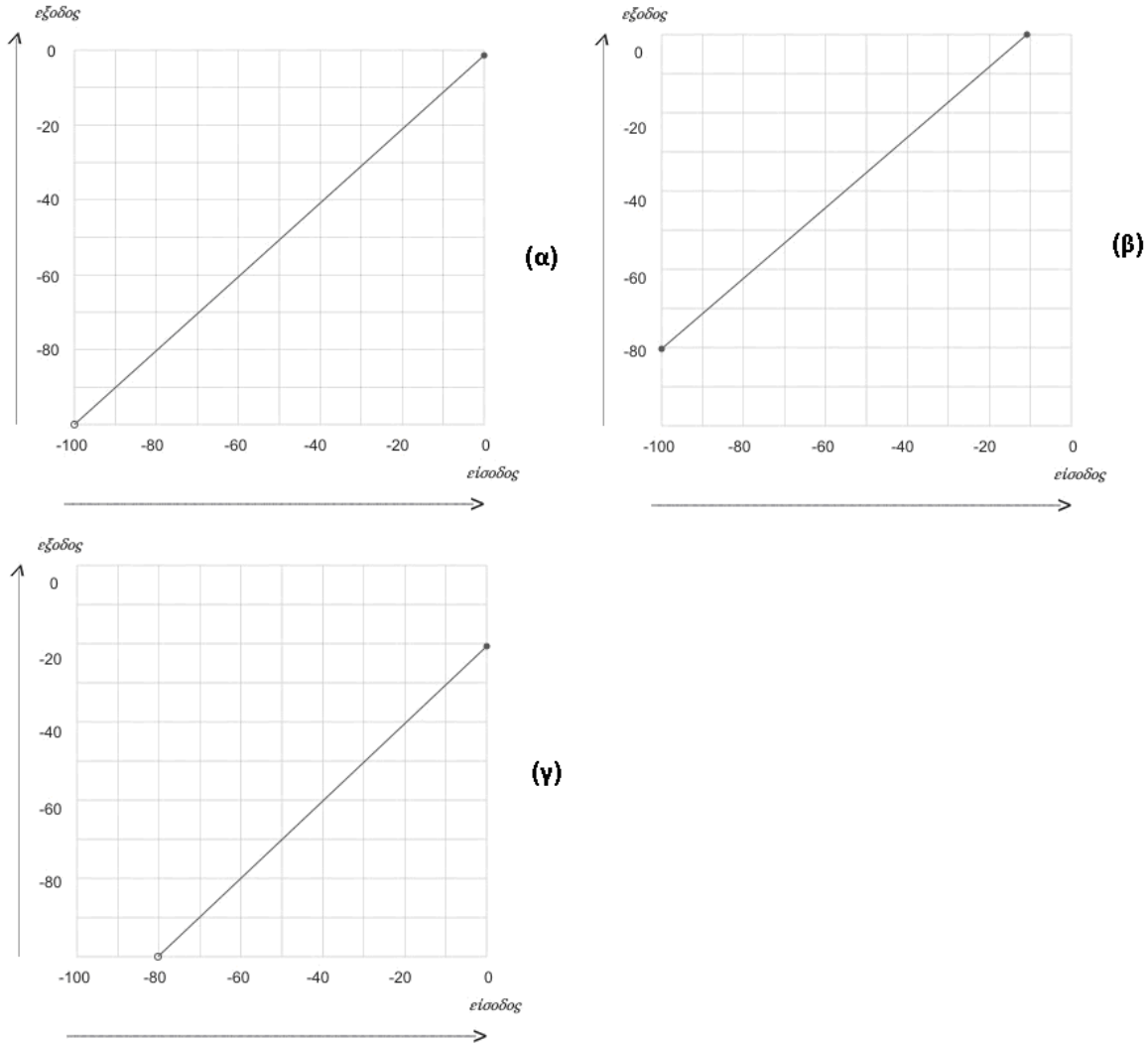
Όταν υπάρχει τιμή threshold πάνω από την οποία εφαρμόζεται ο μετασχηματισμός, τότε η μείωση του πλάτους δεν θα είναι αναλογική για όλες τις πιθανές στάθμες του σήματος εισόδου αλλά η αναλογία θα σπάει σε δύο μέρη. Το ένα μέρος θα είναι ο μετασχηματισμός πλάτους κάτω από την τιμή threshold και η άλλη πάνω από την τιμή threshold. Κάτω από την τιμή threshold η αναλογία θα ισούται με 1:1, ενώ πάνω από την τιμή του σήματος εισόδου η αναλογία θα ισούται με τη τιμή του ratio.⁶⁵

Όπως παρατηρείται και στο σχήμα, οι δύο προαναφερθείσες αναλογίες 1:1 και 1:2 διαχωρίζουν τη καμπύλη μετασχηματισμού σε δύο σημεία χωρίς να υπάρχει κάποια ενδιάμεση μετάβαση. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα μία στάθμη εισόδου που θα βρίσκεται πολύ λίγο κάτω από την τιμή threshold να παίρνει τη τιμή threshold, εν προκειμένω τη τιμή -40 dBFS και αν είναι πάνω από την τιμή threshold να παίρνει τη τιμή

$$X_{\text{output}} = -40 \text{ dBFS} + (X_{\text{input}} + 40 \text{ dBFS}) / v \quad \text{Εξίσωση 2.6}$$

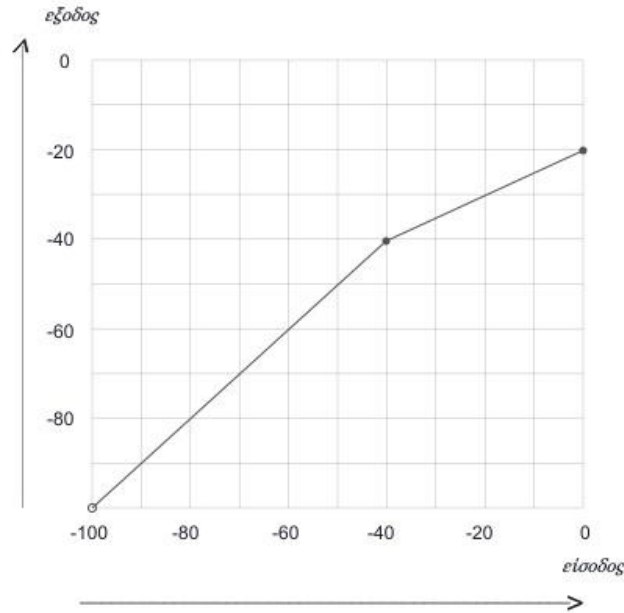
⁶⁴ Bob Katz , Mastering audio the art and the science σελ 119

⁶⁵ Bob Katz, Mastering Audio, σελ 119 έως 120



Σχήμα 2.8 – Σχηματική παράσταση τριών χαρακτηριστικών καμπύλων μετασχηματισμού ανάλογης μεταβολής του πλάτους.

όπου $v = 2$, καθότι το ratio στη προκειμένη περίπτωση είναι 1:2. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα μία απότομη μεταβολή των στάθμεων που θα εναλλάσσονται όταν θα βρίσκονται κοντά στην τιμή threshold. Απόρροια της απότομης μεταβολής που υφίσταται το συνεχές σήμα όταν υπερβαίνει τη τιμή threshold, είναι η δημιουργία μίας νέας παραμέτρου, η οποία θα δρα ως μεταβατικό στάδιο και θα έχει ως αποτέλεσμα την ομαλή μετάβαση μεταξύ των δύο ratio. Αυτή η παράμετρος ονομάζεται γόνατο συμπίεσης (knee) και ο ρόλος της είναι να παρεμβάλει όλες τις ενδιάμεσες τιμές μεταξύ των ratio 1:1 και 1:2. Η σταδιακή μετάβαση θα ξεκινάει στο σημείο threshold και θα



Σχήμα 2.9 – Καμπύλη μετασχηματισμού με threshold -40 dBFS και ratio 1:2.

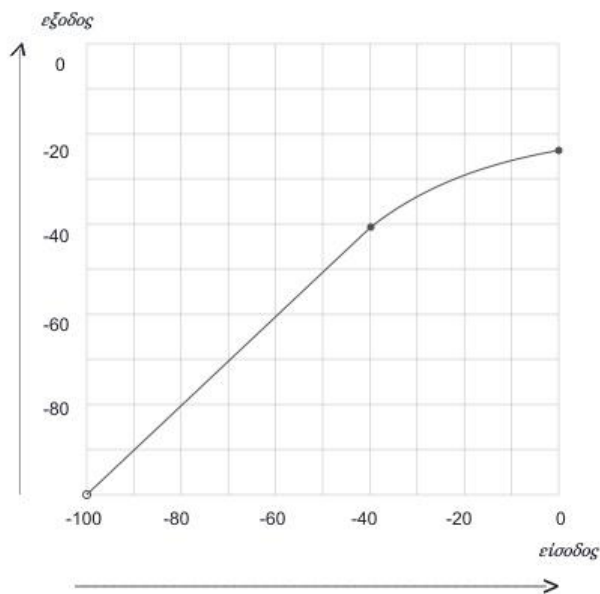
τελειώνει στο τέλος αυτής, δημιουργώντας μία σειρά διαφορετικών ratio κατά μήκος του γόνατου συμπίεσης

$$1:1, 1:1.12, \dots, 1:1.24, 1:1.48, \dots, 1:2$$

Στο σχήμα που ακολουθεί παρατηρείται η μεταβολή του ratio καθώς αυξάνει το πλάτος εισόδου X. Αξίζει να παρατηρηθεί ότι όσο πιο ομαλή είναι η μετάβαση της καμπύλης, χαρακτηρίζεται ως μαλακό γόνατο («soft knee») της καμπύλης μετασχηματισμού, ενώ αντιθέτως όταν υπάρχει απότομη μετάβαση αναφέρεται ως σκληρό γόνατο («hard knee»). Στο Σχήμα 2.10 που ακολουθεί, παρατηρείται καμπύλη μετασχηματισμού με «μαλακό γόνατο», ενώ αντιθέτως στο σχήμα 2.9 η καμπύλη μετασχηματισμού είχε σκληρό γόνατο.⁶⁶

Η καμπύλη μετασχηματισμού αποτελεί το αποτέλεσμα της δημιουργικής παραμόρφωσης που υφίσταται το πλάτος του σήματος κατά την είσοδό του στο συμπίεστή και σε καμία περίπτωση δε μπορεί να σχεδιαστεί προκειμένου να ελεγχθούν οι δυναμικές του σήματος. Για παράδειγμα, δε δύναται να σχεδιαστεί ένα πιο «μαλακό γόνατο» στη καμπύλη μετασχηματισμού, έστω και αν αυτό είναι πλέον εφικτό στα

⁶⁶ Bob Katz, Mastering Audio, σελ 120 έως 121



Σχήμα 2.10 – Συμπίεση ήχου με «μαλακό γόνατο».

ψηφιακά συστήματα ήχου, καθότι ασυνέχειες θα υπεισέρχονταν στη γραφική παράσταση και κατ' επέκταση στο σήμα εξόδου. Ο έλεγχος της σκληρότητας του ήχου στη περιοχή *threshold*, ο οποίος καθορίζει σε μεγάλο βαθμό και τη ποιότητα του ήχου που παράγει η κάθε διάταξη συμπίεσης του ήχου ελέγχεται από άλλες παραμέτρους, όπως το *attack* και το *release*.⁶⁷ Το *attack* είναι ο χρόνος που απαιτείται για να μειωθεί το πλάτος εξόδου από τη χρονική στιγμή t_1 όπου θα ξεπεράσει τη τιμή *threshold* μέχρι τη χρονική στιγμή t_2 στην οποία το πλάτος θα έχει φτάσει την τιμή που ορίζεται από το *ratio*. Εάν για παράδειγμα έχει οριστεί σε ένα συμπιεστή *threshold* = -40 dBFS, *ratio* = 1:2 και *attack* = 120 msec τότε εάν ανιχνευθεί μία τιμή πλάτους - 30 dBFS στην είσοδο, η ένταση του σήματος θα μειωθεί κατά 5 dBFS σε 120 msec. Τυπικές τιμές *attack* είναι 50 msec έως 300 msec με τη μέση τιμή κυμαίνεται στη περιοχή των 100 msec.⁶⁸ Αντίστοιχα, όταν το πλάτος του σήματος είναι πάνω από την τιμή *threshold* και πέσει κάτω από αυτή τη τιμή, δε θα μειωθεί ακαριαία αλλά σε χρόνο ίσο με την παράμετρο *release*. Το *Release* δηλαδή είναι ο χρόνος που απαιτείται από μία στάθμη έντασης που βρίσκεται

⁶⁷ Bob Katz, *Mastering Audio*, σελ 119

⁶⁸ Bob Katz, *Mastering Audio*, σελ 121

πάνω από τη τιμή *threshold* για να μεταβεί σε μία τιμή κάτω από την τιμή *threshold*. Η διάταξη που είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία ομαλών μεταβάσεων *attack - release* αποκαλείται *side-chain*. Είναι αυτή δηλαδή που συνθέτει το *envelope follower*, πραγματοποιεί τις λογικές συγκρίσεις και ελέγχει με βάση αυτές το πλάτος της εξόδου του συμπιεστή.

Άλλη μία διαδεδομένη παράμετρος στους συμπιεστές ήχου είναι η επιλογή *rms* ή *peak*. Στη πρώτη περίπτωση ο ακολουθητής περιβάλλουσας δημιουργείται από τις *rms* τιμές του σήματος του φορέα, ενώ στη δεύτερη περίπτωση ο ακολουθητής περιβάλλουσας δημιουργείται από τις *peak* τιμές του πλάτους. Στη πρώτη περίπτωση η συμπίεση πραγματοποιείται με πιο φυσικό τρόπο ενώ στη δεύτερη περίπτωση πραγματοποιείται ορθότερος έλεγχος των *peaks* που εμφανίζονται στην είσοδο του συμπιεστή ήχου.⁶⁹ Η επιλογή *Peak* ενέχει κινδύνους ως προς την ποιότητα του σήματος καθότι μπορεί να επιφέρει επιπλέον αρμονικούς στο σήμα όταν υπάρχει έντονη παρουσία *peaks* στο σήμα και το *attack* και το *release* έχουν πολύ μικρές τιμές (οπότε θα συμβαίνουν απότομες αυξομειώσεις στην ένταση του ήχου). Η διακύμανση της έντασης σε αυτή τη περίπτωση θα μπορούσε να έχει συχνότητα μεγαλύτερη από τα 18 Hz και έως εκ τούτου θα γίνεται αντιληπτή ως πρόσθεση επιπλέον αρμονικών στο σήμα. Επιπλέον, επειδή αυτή η συχνότητα με την οποία θα εμφανίζονται τα *peaks* θα είναι μεταβλητή, θα έχει ως αποτέλεσμα να υπεισέρχονται στο σήμα αρμονικοί πολλών διαφορετικών συχνοτήτων και στο ηχητικό αποτέλεσμα θα προστεθεί αρμονική παραμόρφωση.⁷⁰

2.4.2 Περιοριστής (limiter)

Ο περιοριστής ήχου είναι ένας συμπιεστής ήχου που δουλεύει σε ακραίες τιμές *threshold* και *ratio*. Χρησιμοποιείται κυρίως για τη συμπίεση των μέγιστων *Peaks* που εμφανίζονται στο σήμα. Οι ψηφιακοί *limiters* χρησιμοποιούν τη τεχνολογία *look-ahead*, που περιγράφηκε ανωτέρω, προκειμένου να εξαλείψει τα *Peaks* που εμφανίζονται στο σήμα.

⁶⁹ Μήνως Φιτσανάκης, *Mastering*, σελ 47

⁷⁰ Huber & Runstein, *Modern Recording Techniques*, σελ 363

2.4.3 Συμπιεστής ήχου πολλών ζωνών (multiband compressor)

Στην ίδια αρχή λειτουργίας στηρίζεται και ο συμπιεστής ήχου πολλών ζωνών (multiband compressor). Στην εν λόγω διάταξη, το σήμα χωρίζεται σε μία σειρά φασματικών ζωνών, από 3 έως 5 συνήθως τον αριθμό, η κάθε μία από τις οποίες περνάει από διαφορετική διάταξη συμπιεστή και έως εκ τούτου συμπιέζεται με διαφορετικές παραμέτρους threshold, ratio και ενίοτε attack και release. Η αλλαγή των παραμέτρων attack και release πρέπει να λαμβάνουν παρεμφερείς τιμές καθώς οι τιμές των δύο αυτών παραμέτρων δημιουργούν αίσθηση συγχρονισμού στο υπό επεξεργασία μουσικό υλικό, διαφορετικά χάνεται όταν εφαρμόζεται σε διαφορετικές φασματικές ζώνες. Ο multiband compressor χρησιμοποιείται ευρέως από τους τεχνικούς mastering, καθώς δίνει πολύ μεγαλύτερη ευελιξία ως προς τη διαχείριση της τελικής μίξης και την αποκατάσταση της ισορροπίας μεταξύ διαφορετικών φασματικών ζωνών.⁷¹

Συνήθως, οι δυναμικοί επεξεργαστές αυτού του τύπου επιτρέπουν στον χρήστη να αλλάζει τα σημεία στα οποία εναλλάσσονται οι φασματικές ζώνες, κάτι το οποίο είναι εξαιρετικά χρήσιμο ώστε να μπορέσει να απομονώσει και να ενισχύσει διαφορετικά όργανα, μέσω επιλογής διαφορετικών φασματικών περιοχών όπως τη χαμηλή φασματική περιοχή όπου κυριαρχεί το μπάσσο και η μπότα και τη μεσαία φασματική περιοχή που επικρατεί η φωνή.



Σχήμα 2.11 – Συμπίεση ήχου σε διαφορετικές φασματικές ζώνες μέσω της ψηφιακής εφαρμογής Izotope Ozone.⁷²

⁷¹ Izotope, Izotope Mastering Guide 2013

⁷² Izotope, Izotope Mastering Guide 2013

2.4.4 De-esser

Μία άλλη χρήση του συμπιεστή ήχου είναι το *De-esser*. Χρησιμοποιείται για να χαμηλώσει τον τονισμό στα συριστικά σύμφωνα (σ, ζ, ψ) που δημιουργείται κατά την ηχογράφηση της ανθρώπινης φωνής. Σε αυτή τη περίπτωση το σήμα συμπιέζεται σε μία μόνο φασματική περιοχή αυτή μεταξύ των 2 και 10 KHz στην οποία εμφανίζονται τα συριστικά σύμφωνα. Το σήμα μέσω ενός φίλτρου διέλευσης ζώνης διέρχεται στον επεξεργαστή συμπίεσης ενώ το υπόλοιπο φάσμα (20 έως 2 KHz και 10 έως 20 KHz) του ήχου προστίθεται στην έξοδο του συμπιεστή. Συμπιέζονται κατά αυτό το τρόπο το φάσμα στο οποίο υπάρχει πιο έντονη παρουσία των συριστικών συμφώνων ανάλογα με το πόσο δυνατή είναι η έντασή τους.

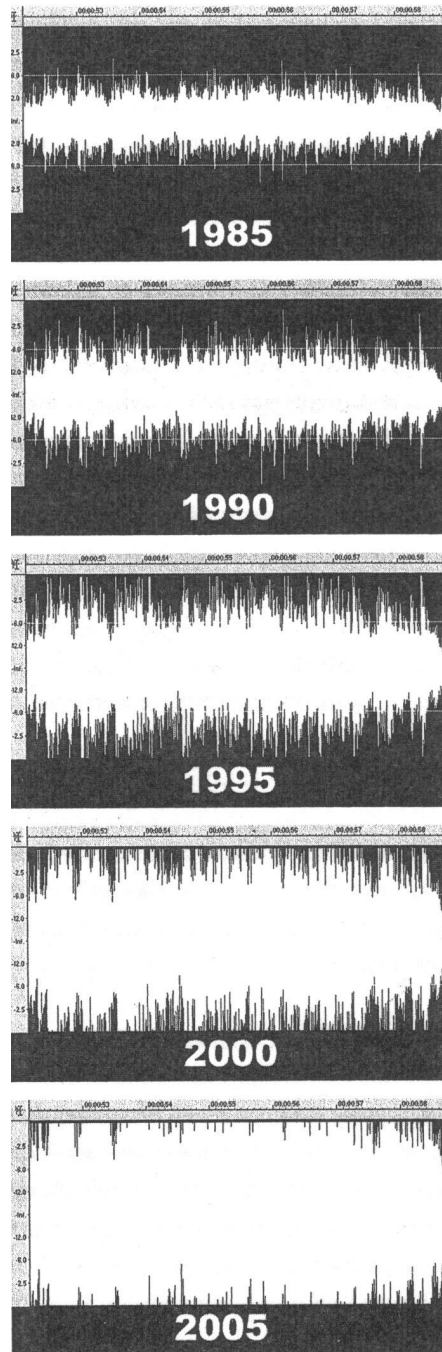
2.5 Ο πόλεμος της έντασης του ήχου

Η διαδικασία του mastering δύναται να διαχωριστεί σε μερικές μόνο διαδικασίες με προεξέχουσες την αύξηση της ηχητικής έντασης, την διατήρηση της συχνοτικής ισορροπίας μεταξύ των κομματιών του δίσκου. Αυτό που πραγματικά διαχωρίζει μία επαγγελματική δουλειά από μία μη επαγγελματική δουλειά είναι ότι ο μηχανικός ήχου στη πρώτη περίπτωση γνωρίζει το πόσο μακριά μπορεί να φτάσει αυτή τη διαδικασία.⁷³

Ένας έμπειρος τεχνικός ήχου κατά την διαδικασία του Mastering θα αυξήσει την ένταση του ήχου όσο το δυνατόν περισσότερο αλλά ταυτόχρονα θα διατηρήσει τη φυσικότητα του ήχου αναλλοίωτη. Η διαδικασία της μεγιστοποίησης της ηχητικής έντασης θεωρείται επιβεβλημένη ως επί το πλείστον στη σύγχρονη pop / rock / R&B αλλά όχι τόσο συχνά για την κλασική και την Jazz μουσική, όπου οι ακροατές προτιμούν το δυναμικό εύρος να είναι πιο μεγάλο και κατ' επέκταση ο crest factor να λαμβάνει πιο μικρές τιμές.

Όπως προαναφέρθηκε, ο πόλεμος της έντασης ξεκίνησε στις αρχές τις δεκαετίας του '50 όταν διαπιστώθηκε πώς μεγιστοποίηση της ηχητικής έντασης εκπομπής από το ραδιόφωνο οδηγούσε σε αύξηση της εμπορευσιμότητας ενός κομματιού. Με την πάροδο

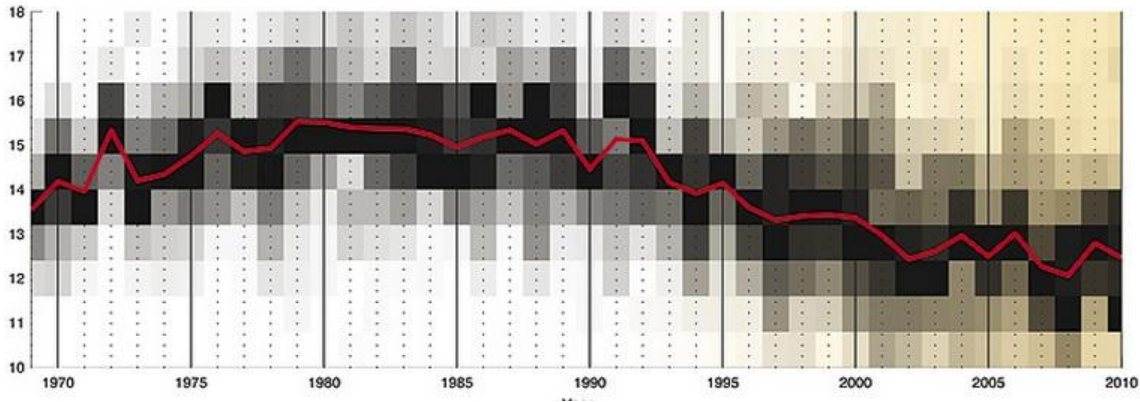
⁷³ Bob Owsinsky, The audio mastering handbook, σελ 33



Σχήμα 2.12 – Χαρακτηριστικές εικόνες συμπίεσης σε κάποιες ενδεικτικές χρονολογίες.

των χρόνων αυξάνονταν η πίεση από τους παραγωγούς και τους καλλιτέχνες προς τους τεχνικούς ήχου για ολοένα και δυνατώτερες παραγωγές. Μία ολόκληρη βιομηχανία κατασκευής δυναμικών επεξεργαστών στήθηκε για την εκπλήρωση αυτού του σκοπού. Αλλά, όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, το δυναμικό εύρος και κατ' επέκταση η ηχητική ένταση εκπομπής στην οποία θα αναπαραχθεί ένα αρχείο ήχου καθορίζεται σε μεγάλο

βαθμό από το μέσο αναπαραγωγής. Στο Σχήμα 2.12 παρατηρείται μία σχηματική αναφορά χαρακτηριστικών εικόνων συμπίεσης στη πάροδο του χρόνου κατά τον Bobby Owsinsky.⁷⁴



Σχήμα 2.13 – Διακύμανση του Crest Factor τα τελευταία 40 χρόνια, σύμφωνα με έρευνα του περιοδικού Sound On Sound.

Το ανωτέρω σχήμα δείχνει εικονικά τη τάση που επικρατεί στην μουσική βιομηχανία για περισσότερη συμπίεση του ήχου (βάσει εμπειρίας του συγγραφέα κατόπιν ενασχόλησης με το ζήτημα του mastering). Φυσικά, σε καμία περίπτωση δεν αποτελεί επιστημονική αποτύπωση της αύξησης του ποσοστού συμπίεσης της έντασης τις τελευταίες τρεις δεκαετίες. Μία επιστημονική καταγραφή του ποσοστού συμπίεσης στη πάροδο των δεκαετιών, απαιτεί συγκέντρωση εκατοντάδων αποτελεσμάτων ενός αντικειμενικού δείκτη που να αναπαριστά με μαθηματική ακρίβεια τη διακύμανση της συμπίεσης. Με βάση τη θεωρητική προσέγγιση που διατυπώθηκε, ο πιο κατάλληλος δείκτης του ποσοστού συμπίεσης είναι η διαφορά μεταξύ της PEAK και της RMS έντασης που αντιπροσωπεύει τον παράγοντα Crest Factor. Μία τέτοια έρευνα πραγματοποιήθηκε το 2011 από το αγγλικό περιοδικό μουσικής τεχνολογίας “Sound On Sound”, τα αποτελέσματα της οποίας καταγράφονται στον επόμενο πίνακα.. Για τη δημιουργία του γραφήματος 4500 τραγούδια μεγάλης εμπορικότητας και κριτικής

⁷⁴ Bob Owsinsky, The audio mastering handbook, σελ 34

αναγνώρισης επιλέχθηκαν από την ιστοσελίδα billboard καθώς και από τον κατάλογο επιτυχιών της wikipedia.⁷⁵

Από το παραπάνω γράφημα είναι σαφής η πτώση του Crest Factor τις δύο τελευταίες δεκαετίες. Παρατηρείται ότι με τη πάροδο των χρόνων η συμπίεση στον ήχο γίνονταν ολοένα και πιο έντονη. Η υπερβολική συμπίεση στον ήχο δημιουργεί μία σειρά ανεπιθύμητων παρενεργειών, σύμφωνα με τον Owsinsky:⁷⁶

- μειώνεται το δυναμικό εύρος και κατ'επέκταση η ζωνρότητα του κομματιού,
- εάν αυτή γίνει κατά τη διάρκεια της τελικής μίξης, δεν αφήνει χώρο στο μηχανικό ήχου Mastering για να εργασθεί,
- τα απωλεστικά αρχεία ήχου, όπως το mp3, αποκωδικοποιούν πιο δύσκολα τον ήχο, εισάγοντας ηχητικές ατέλειες,
- έχει διαπιστωθεί ότι ο ακροατής κουράζεται πιο εύκολα ακούγοντας ένα υπερβολικά συμπιεσμένο κομμάτι και έως εκ τούτου θα το ακούσει πιο δύσκολα σε επανάληψη,
- ένα υπερσυμπιεσμένο κομμάτι θα ακουστεί με χαμηλότερη ποιότητα κατά την εκπομπή του από ένα ραδιοφωνικό σταθμό λόγω της συμπεριφοράς των κυκλωμάτων εκπομπής σε ηχητικά αποσπάσματα με πολύ μικρό crest factor.

Σύμφωνα με τον Bob Katz⁷⁷, παρόλο που ο πόλεμος της έντασης και της επακόλουθης μείωσης του crest factor, έχει ξεκινήσει από την εποχή του βινυλίου και των ραδιοφωνικών εκπομπών, τα τελευταία 30 χρόνια έχει σημειώσει αλματώδης άνοδος. Τις δεκαετίες που μεσουρανούσε το βινύλιο, οι pop επιτυχίες δεν είχαν πάνω από 4 dB αύξηση σε σχέση με τα υπόλοιπα είδη μουσικής. Τη πρώτη περίοδο της ψηφιακής τεχνολογίας, προτού αυτή επικρατήσει ολοκληρωτικά στο χώρο της μουσικής,

⁷⁵ <http://www.billboard.com/>

http://en.wikipedia.org/wiki/Billboard_Hot_100

⁷⁶ Owsinsky Bobby, The Audio Mastering Handbook, σελ 34 έως 35

⁷⁷ Bob Katz , Mastering Audio, σελ 168 έως 169

οι τεχνικοί ήχου έθεταν τον VU μετρητή στα -20 dBFS χωρίς να επηρεάζουν τον crest factor και να θεωρούν ως απαραίτητη διαδικασία το μέγιστο πλάτος του σήματος να ισούται με 0 dBFS.

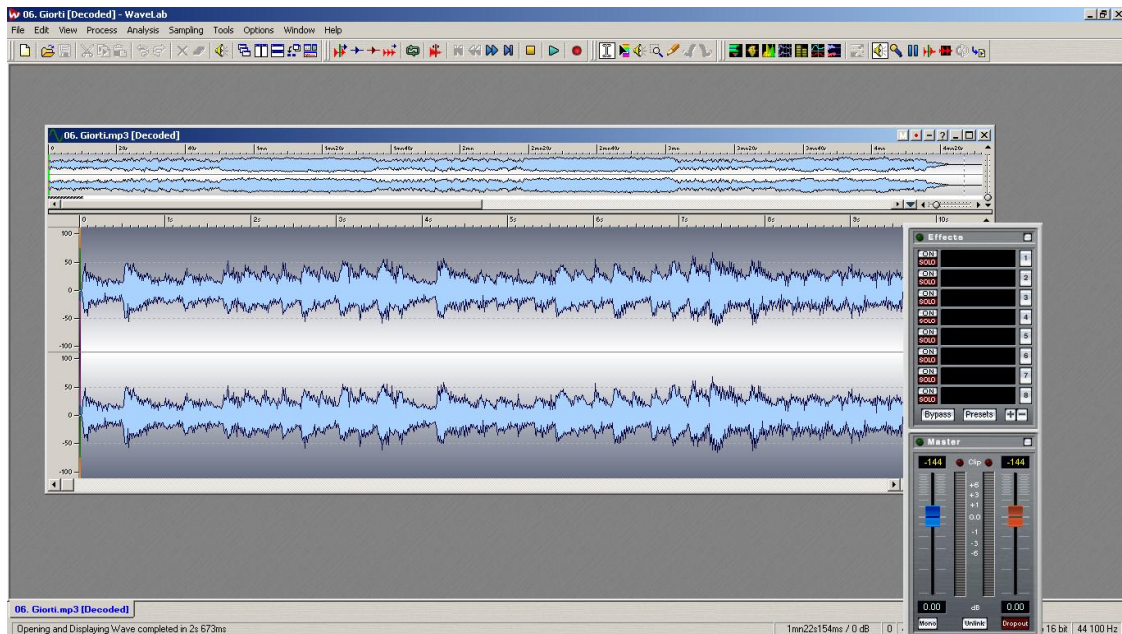
Η ραγδαία όμως αύξηση της ψηφιακής τεχνολογίας και των look-ahead compressors δημιούργησαν ασφάλεια στους τεχνικούς mastering ότι μπορούν να αυξήσουν την ένταση μέχρις ορίου παραμόρφωσης, αφού τα peaks του σήματος διαχειρίζονται από τον δυναμικό επεξεργαστή. Στη σημερινή εποχή η εν λόγω τεχνολογία επιτρέπει στο τεχνικό ήχου να θέτει ένα threshold της τάξης του -0.1 ή 0.2 dBFS και να μην ανησυχεί για ψηφιακή παραμόρφωση και στάθμες που ξεπερνούν το μέγιστο 0 της κλίμακας FS, έχοντας όμως υποστεί το σήμα απώλεια της αρχικής ζωντάνιας του καθώς μειώνεται το δυναμικό εύρος. Ένα από τα μεγαλύτερα ζητήματα που προκύπτουν σε ένα υπερσυμπιεσμένο κομμάτι είναι ότι αν ο ακροατής προσαρμόσει την ένταση κατά τη δική του προσωπική ευχαρίστηση, ώστε να έχει την ίδια ακουστότητα σε σχέση με το προηγούμενο το οποίο έχει υποστεί μέτρια συμπίεση, τότε το υπερσυμπιεσμένο θα ακουστεί ποιο «εξασθενημένο» σε σχέση με το αυτό που έχει υποστεί μέτρια συμπίεση.⁷⁸

⁷⁸ Owsinsky Bobby, The Audio Mastering Handbook, σελ 34

Κεφάλαιο 3 – Εμπειρικό σκέλος

3.1 Μεθοδολογία

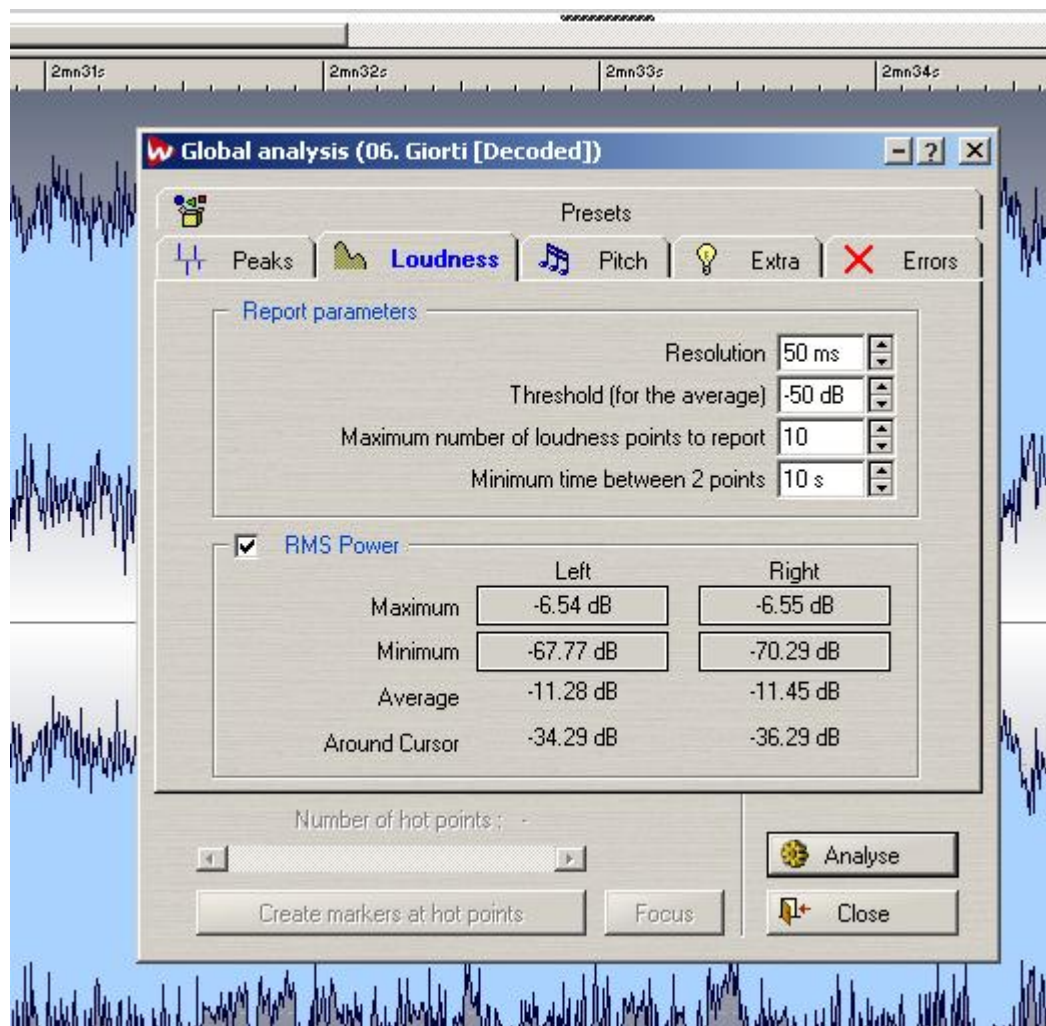
Η παρούσα πειραματική διαδικασία της μέτρησης του Crest Factor πραγματοποιήθηκε εξολοκλήρου στην εφαρμογή Wavelab. Το Wavelab είναι μία ψηφιακή εφαρμογή ήχου που είναι προσανατολισμένη στο Mastering. Διαθέτει ποικίλα εργαλεία επιμέλειας, διόρθωσης, ανάλυσης της κυματομορφής και ανήκει στη κατηγορία των «editors» ήχου. Ο τεχνικός έχει τη δυνατότητα μέσω ενός editor να αναλύσει την κυματομορφή και να την επεξεργαστεί χειροκίνητα, όπως να επέμβει στις δυναμικές (limiting) ή να εξαλείψει ανεπιθύμητους θορύβους. Επίσης, επεξεργάζεται το σήμα μέσω εφαρμογών τρίτων κατασκευαστών.



Σχήμα 3.1 – Περιβάλλον εργασίας της εφαρμογής Wavelab.

Για τη μελέτη της εξέλιξης του crest factor στην Ελλάδα τις τελευταίες τρεις δεκαετίες, επιλέχθηκαν 5 τραγούδια για κάθε χρονιά της δεκαετίας του 1980-1990 και δέκα τραγούδια για κάθε χρονιά των δεκαετιών 1990-2000 και 2000-2010. Τα τραγούδια επιλέχθηκαν με μοναδικό κριτήριο την εμπορικότητά τους σε κάθε χρονιά καθώς «ο πόλεμος της έντασης» έχει άμεση σχέση με το pop ιδίωμα της.

Για τον υπολογισμό της τιμής του crest factor ανά χρονολογία χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη μεθοδολογία. Στο πρώτο στάδιο αναλύθηκε το σήμα του υπό εξέταση κομματιού και βρέθηκε η ένταση RMS στην FS κλίμακα στην επιλογή analysis → global analysis → loudness του κάθε καναλιού ήχου ξεχωριστά, κατόπιν από τις δύο εντάσεις RMS σχηματίστηκε ο μέσος όρος της έντασης RMS του κάθε τραγουδιού. Από τις εντάσεις RMS που παρουσιάζονται στο παράθυρο ανάλυσης επιλέχθηκε η “Average” RMS ένταση του κάθε καναλιού.



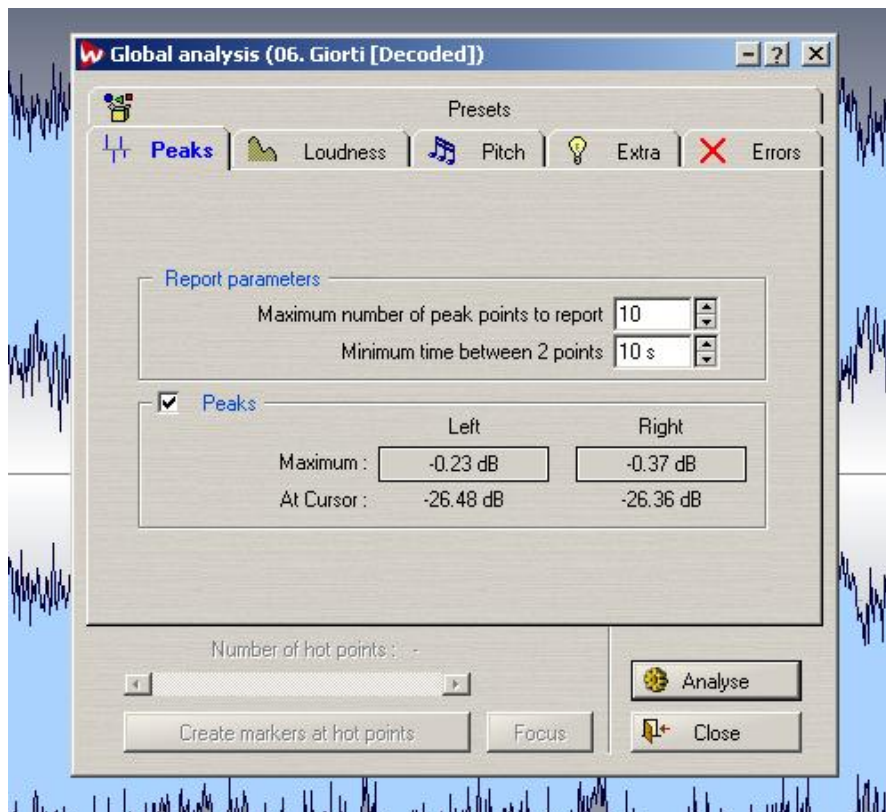
Σχήμα 3.2 – Υπολογισμός της έντασης RMS για το κάθε κανάλι ήχου.

Από αυτή τη διαδικασία σχηματίστηκαν πίνακες ανά έτος από τη δεκαετία του 1980 μέχρι σήμερα. Στο Σχήμα 3.3 φαίνεται ένας πίνακας της έντασης RMS για το έτος 1999. Από το μέσο όρο των δύο καναλιών του κάθε αρχείου ήχου βρέθηκε ο τελικός μέσος όρος της έντασης RMS για το κάθε έτος.

ΕΤΟΣ	ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	ΜΕΣΗ ΣΤΑΘΜΗ ΣΕ dbrms-L	ΜΕΣΗ ΣΤΑΘΜΗ ΣΕ dbrms-R	Μ.Ο
1999	Δάντης Χρήστος-Το παλιό μου παλτό	-14,38	-14,05	-14,215
1999	Λ. Μαχαίριτσας & Δ. Σαββόπουλος - Και τι ζητάω	-20,09	-20,09	-20,09
1999	Αργυράκη - Πιο δυνατά (Stayin Alive)	-19,64	-19,8	-19,72
1999	Antique - Όπα όπα	-10,97	-11,04	-11,005
1999	Δέσποινα Βανδή - Κλείνομαι	-13,88	-14,09	-13,985
1999	Βαλάντης - Όλη η ζωή σου μια βιτρίνα	-14,35	-14,6	-14,475
1999	Ελένη Καρουσάκη - Τώρα δεν αντέχεις	-13	-12,44	-12,72
1999	Τρύπες - Γιωρτή	-13,16	-12,86	-13,01
1999	DE FACTO - Άχρηστα ρολόγια	-13,41	-13,28	-13,345
1999	Θέμης Αδαμαντίδης - Μα Που Να Πάω	-16,79	-16,55	-16,67
				-14,9235

Σχήμα 3.3 – Η ένταση RMS των 10 πιο εμπορικών ελληνικών τραγουδιών του 1999.

Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε για να βρεθεί ο μέσος όρος της έντασης του υψηλότερου peak που εμφανίζεται σε κάθε κανάλι του ήχου από την επιλογή analysis → global analysis → loudness.



Σχήμα 3.4 – Η ανάλυση των υψηλότερων peak στα δύο κανάλια.

Ακολουθώς, σχηματίστηκαν οι πίνακες των μέσων όρων των peak που εμφανίζονται στα δύο κανάλια του κάθε κομματιού ανά έτος και ο τελικός μέσος όρος peak του κάθε έτους, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.5.

ΕΤΟΣ	ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	dbPeak-L	dbPeak-R	M.O
1999	Δάντης Χρήστος-Το παλιό μου παλτό	0	-0,13	-0,065
1999	Λ. Μαχαίριτσας & Δ. Σαββόπουλος - Και τι ζητάω	-4,39	-4,22	-4,305
1999	Αργυράκη - Πιο Δυνατά (Stayin Alive)	-0,83	-1,94	-1,385
1999	Antique - Όπα όπα	0	0	0
1999	Δέσποινα Βανδή - Κλείνομαι	0	0	0
1999	Βαλάντης - Όλη η ζωή σου μια βιτρίνα	-0,98	-1,04	-1,01
1999	Ελένη Καρουσάκη - Τώρα δεν αντέχεις	0	0	0
1999	Τρύπες - Γιορτή	-0,36	-0,27	-0,315
1999	DE FACTO - Άχρηστα ρολόγια	0	0	0
1999	Θέμης Αδαμαντίδης - Μα Που Να Πάω	-0,13	0	-0,065
				-0,7145

Σχήμα 3.5 – Η μέγιστη ένταση που εμφανίζεται στα 10 πιο εμπορικά ελληνικά τραγούδια του 1999.

Από του παραπάνω πίνακες εξήχθησαν τα αποτελέσματα για την κατάρτιση των πινάκων crest factor, που ισούται με τη διαφορά μεταξύ peak έντασης και rms.

ΕΤΟΣ	ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	dbrms L-R(M.O)	dbPeakL-R (M.O)	Crest Factor
1999	Δάντης Χρήστος-Το παλιό μου παλτό	-14,215	-0,065	14,15
1999	Λ. Μαχαίριτσας & Δ. Σαββόπουλος - Και τι ζητάω	-20,09	-4,305	15,785
1999	Αργυράκη - Πιο Δυνατά (Stayin Alive)	-19,72	-1,385	18,335
1999	Antique - Όπα όπα	-11,005	0	11,005
1999	Δέσποινα Βανδή - Κλείνομαι	-13,985	0	13,985
1999	Βαλάντης - Όλη η ζωή σου μια βιτρίνα	-14,475	-1,01	13,465
1999	Ελένη Καρουσάκη - Τώρα δεν αντέχεις	-12,72	0	12,72
1999	Τρύπες - Γιορτή	-13,01	-0,315	12,695
1999	DE FACTO - Άχρηστα ρολόγια	-13,345	0	13,345
1999	Θέμης Αδαμαντίδης - Μα Που Να Πάω	-16,67	-0,065	16,605
				14,209

Σχήμα 3.6 – Η τιμή Crest Factor των 10 πιο εμπορικών ελληνικών τραγουδιών του έτους 1999.

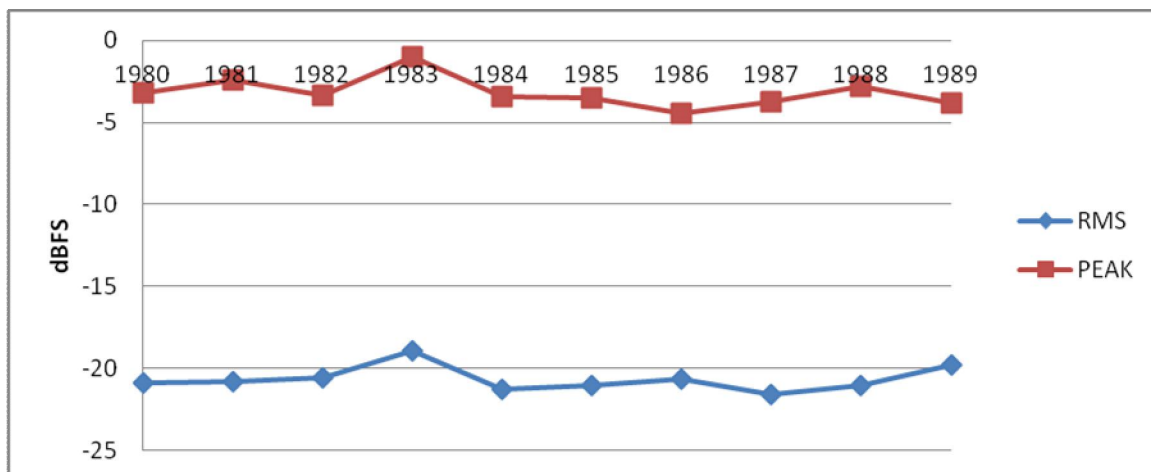
3.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα της έρευνας παρατίθενται ανά δεκαετία στο Παράρτημα. Τα αντίστοιχα γραφήματα που προκύπτουν από αυτά αναλύονται και παρουσιάζονται ακολούθως. Με τη συντομογραφία C.F. εννοείται ο παράγοντας Crest Factor.

1980 - 1989

Έτος	PEAK	RMS	C.F.
1980	-3,191	-20,89	17,708
1981	-2,41	-20,79	18,38
1982	-0,1	-20,55	17,17
1983	-1,04	-18,90	17,86
1984	-3,42	-21,26	17,84
1985	-3,55	-21,08	17,53
1986	-4,46	-20,63	16,17
1987	-3,712	-21,60	17,88
1988	-2,78	-21,04	18,26
1989	-3,83	-19,76	15,93

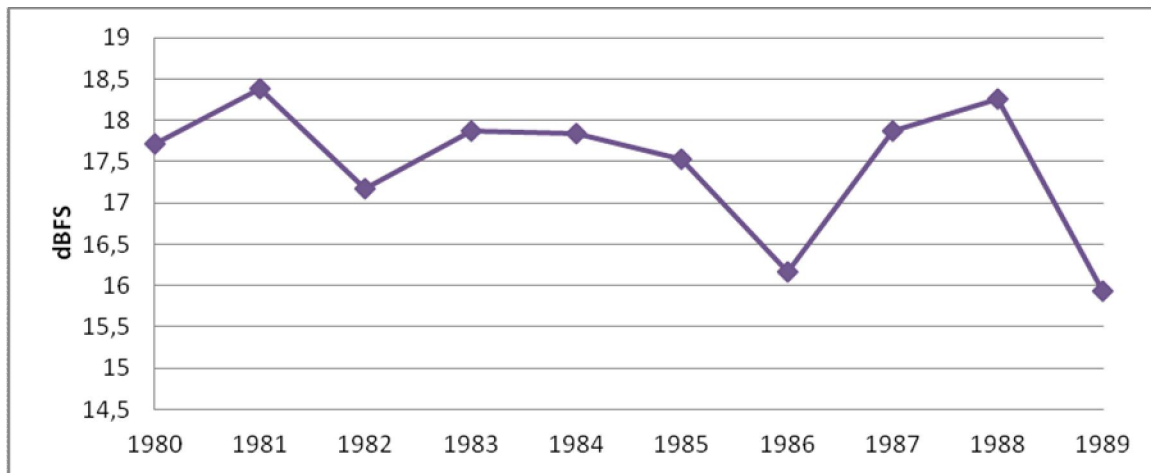
Πίνακας 3.1 – Συγκεντρωτικά αποτελέσματα 1980-1989.



Σχήμα 3.7 – Οι γραφικές παραστάσεις της διακύμανσης των τιμών peak και rms τη δεκαετία του 1980.

Το πρώτο συμπέρασμα που προκύπτει από τις τιμές των πινάκων για όλη τη δεκαετία συνολικά είναι ότι η νεοεισελθούσα ψηφιακή τεχνολογία στον χώρο της μουσικής, δεν έχει επηρεάσει ουσιαστικά την διαδικασία του mastering, καθώς μόνο σε δύο κομμάτια υπάρχουν τιμές PEAK που ισούται με το 0. Αυτό είναι ενδεικτικό ότι τη

δεκαετία του '80 η κανονικοποίηση των τιμών δεν χρησιμοποιούνταν ως το τελικό στάδιο της επεξεργασίας των δυναμικών. Η RMS τιμή της έντασης η οποία, όπως αναλύθηκε, συνδέεται με την ένταση του VU μέτρου και είναι ενδεικτική της έντασης που αντιλαμβάνεται ο ακροατής κυμαίνεται επίσης σε πολύ χαμηλά επίπεδα μεταξύ των τιμών - 21 dBFS και 19 dBFS. Η απόσταση που χωρίζει τις δύο γραφικές παραστάσεις αποτελεί και την διαφορά μεταξύ των τιμών RMS και PEAK, δηλαδή του Crest Factor και αποτυπώνεται στο επόμενο γράφημα.



Σχήμα 3.8 – Η διακύμανση της τιμής του Crest Factor για τη δεκαετία του '80.

Όπως παρατηρείται και από το γράφημα, οι τιμές του Crest Factor κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 16 και 18.5 που αποτελεί μία σχετικά μεγάλη τιμή Crest Factor και ένδειξη ότι ο «πόλεμος της έντασης» δεν είχε ξεκινήσει ακόμα στην Ελλάδα. Δεν υπάρχει μία σαφής κατεύθυνση των τιμών, αφού όπως παρατηρείται υπάρχουν συνεχείς αυξομειώσεις στη γραφική παράσταση. Μόνο τα έτη 1983 έως 1986 υπάρχει μία σαφής καθοδική πορεία της τιμής του Crest Factor, η οποία όμως ανακάμπτει τα έτη 1987 και 1988 για να εμφανίσει εκ νέου καθοδική πορεία και χαμηλό δεκαετίας την τελευταία χρονιά της.

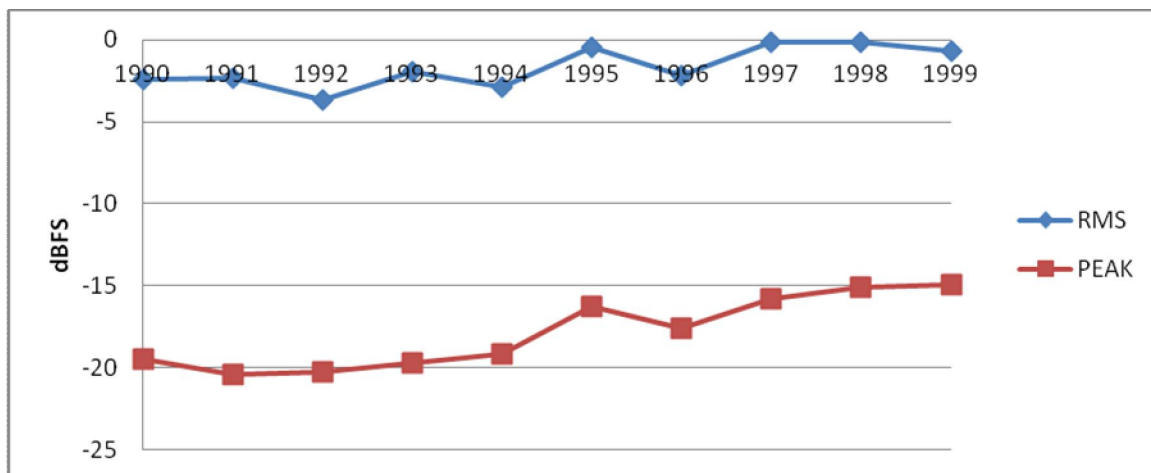
Παρόλα αυτά εάν αθροιστούν οι τιμές των πρώτων πέντε χρόνων της δεκαετίας του '80 και το αποτέλεσμα το διαιρεθεί με το 5, προκειμένου να εξαχθεί ο μέσος όρος του πρώτου μισού της δεκαετίας, παρατηρείται ότι η μέση τιμή Crest Factor για το πρώτο μισό της δεκαετίας είναι ποιο υψηλή σε σχέση με το δεύτερο μισό. Ποιο συγκεκριμένα, η μέση τιμή Crest Factor για το πρώτο μισό είναι 17,794 dB ενώ για το δεύτερο μισό είναι 17,1568 dB. Αυτό ίσως να αποτελεί και το πρώτο σημάδι της κάμψης της τιμής του Crest

Factor στο δεύτερο μισό της δεκαετίας του '80, που συνεπάγεται αύξηση του ποσοστού συμπίεσης του ήχου κατά την διαδικασία του Mastering. Συγκρίνοντας με τις τιμές του πίνακα που αναπαρίστανται τα αποτελέσματα της έρευνας του περιοδικού Sound on Sound, παρατηρούνται ότι και τα δύο γραφήματα παρουσιάζουν υψηλό δεκαετίας το έτος 1980 και χαμηλό δεκαετίας το 1990, ενώ παρατηρείται στασιμότητα στη πρώτη πενταετία. Οι ενδιάμεσες διακυμάνσεις δεν επιτρέπουν να χαρακτηριστεί η γραφική παράσταση ως καθοδική. Παρόλα αυτά, οι τιμές του Crest Factor στο εξωτερικό είναι περίπου 1,5 έως 2 dB χαμηλότερες, γεγονός που υποδεικνύει ότι την αντίστοιχη περίοδο στο εξωτερικό, το σήμα συμπιέζονταν περισσότερο.

1990 - 1999

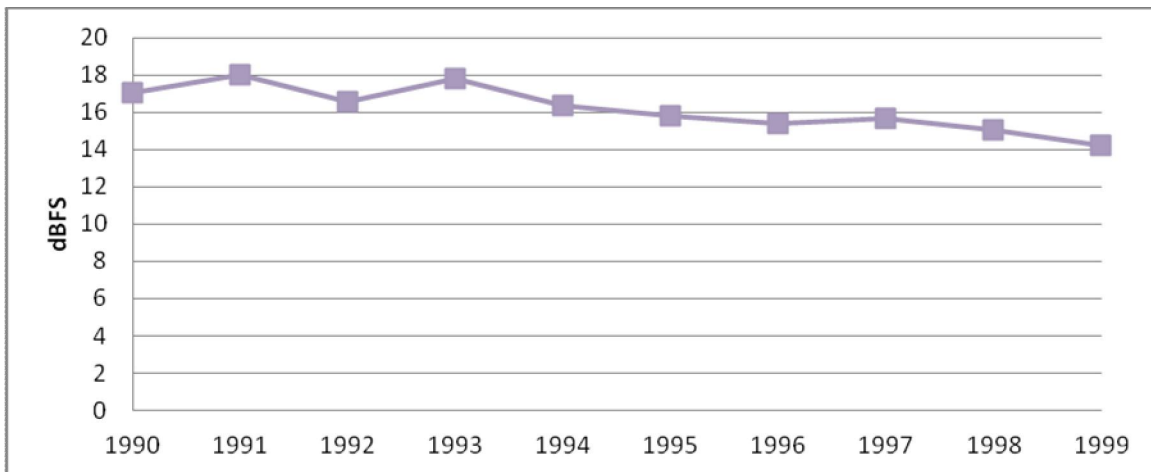
έτος	PEAK	RMS	C.F.
1990	-2,38	-19,456	17,076
1991	-2,365	-20,406	18,0415
1992	-3,6445	-20,228	16,584
1993	-1,945	-19,719	17,7745
1994	-2,864	-19,188	16,324
1995	-0,456	-16,28	15,8245
1996	-2,1625	-17,59	15,4275
1997	-0,184	-15,839	15,6555
1998	-0,11	-15,127	15,0175
1999	-0,7145	-14,923	14,209

Πίνακας 3.2 – Συγκεντρωτικά αποτελέσματα 1990-1999.



Σχήμα 3.9 – Οι γραφικές παραστάσεις της διακύμανσης των τιμών peak και rms τη δεκαετία του 1990.

Η πορεία των τιμών PEAK, RMS όπως παρατηρείται από το σχεδιάγραμμα είναι ανοδική. Από τους πίνακες που παρουσιάζονται τα αναλυτικά αποτελέσματα παρατηρείται ότι υπάρχουν 30 τιμές PEAK που ισούται με το 0 σε αντίθεση με τη δεκαετία του '80 που υπήρχαν μόνο δύο. Αποτέλεσμα της ολοένα και μεγαλύτερης χρήσης της κανονικοποίησης είναι ότι τα τρία τελευταία έτη οι μέσες τιμές του PEAK να προσεγγίζουν το 0. Αυτό το γεγονός δείχνει ότι το ψηφιακό μέσο έχει εισβάλει και στην Ελληνική μουσική παραγωγή στη διαδικασία του mastering. Επίσης, υπάρχει μία σαφής ανοδική τάση των τιμών RMS όπου υποδεικνύει ότι ο «πόλεμος της έντασης» έχει διαδοθεί και τον Ελλαδικό χώρο. Είναι ενδεικτικό ότι κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '90 η RMS ένταση αυξήθηκε κατά 4,5 dB.



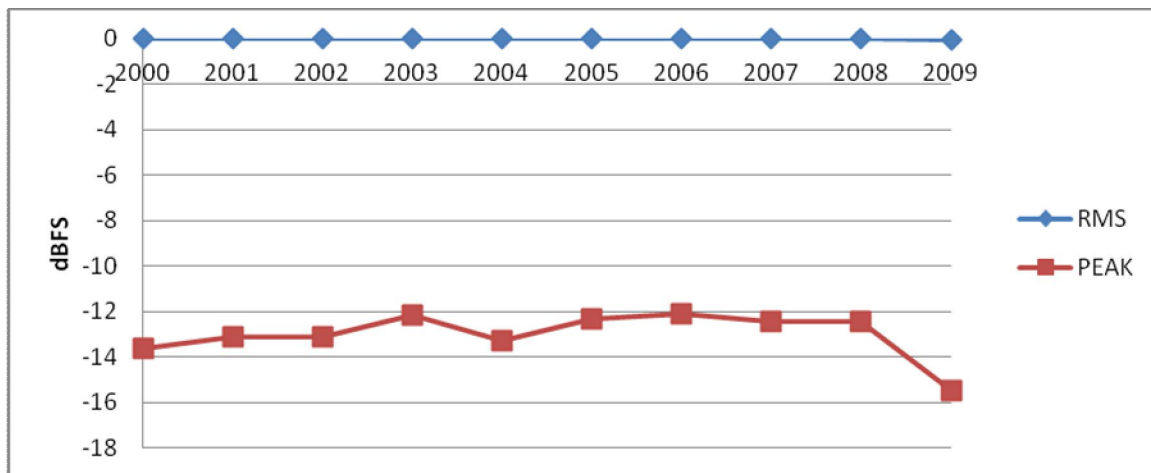
Σχήμα 3.10 – Η διακύμανση της τιμής του Crest Factor τη δεκαετία του 1990.

Η τιμή του Crest Factor έχει σαφή καθοδική πορεία με μία έντονη πτώση το έτος 1992, αποτέλεσμα της συνεχούς αύξησης του ποσοστού συμπίεσης του ήχου. Η τιμή του Crest Factor ελαττώθηκε κατά 3.7 dB κρίνοντας από τη μέγιστη τιμή του που εμφανίζεται το 1991 και την ελάχιστη τιμή του που εμφανίζεται το 2000. Ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζει ότι συγκρίνοντας με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της έρευνας του Sound On Sound, παρατηρείται ότι το 1990 παρουσιάζεται ένα τοπικό ελάχιστο στη γραφική παράσταση στην αρχή της δεκαετίας για να αυξηθεί κατόπιν και να ακολουθήσει μία καθαρή πτωτική πορεία. Αυτή η μικρή διακύμανση της τιμής του Crest Factor τόσο στον διεθνή όσο και στον Ελλαδικό χώρο στην αρχή της δεκαετίας, μπορεί να ερμηνευθεί ως το μεταβατικό στάδιο ανάμεσα στην εποχές πριν και μετά τον «πόλεμο της ηχητικής έντασης».

2000 - 2009

Έτος	PEAK	RMS	C.F.
2000	-0,0005	-13,613	13,613
2001	0	-13,145	13,145
2002	0	-13,145	13,145
2003	0	-12,155	12,3135
2004	0	-13,274	13,2745
2005	0	-12,356	12,356
2006	0	-12,135	12,1355
2007	0	-12,448	12,448
2008	0	-12,472	12,472
2009	-0,031	-15,47	14,623

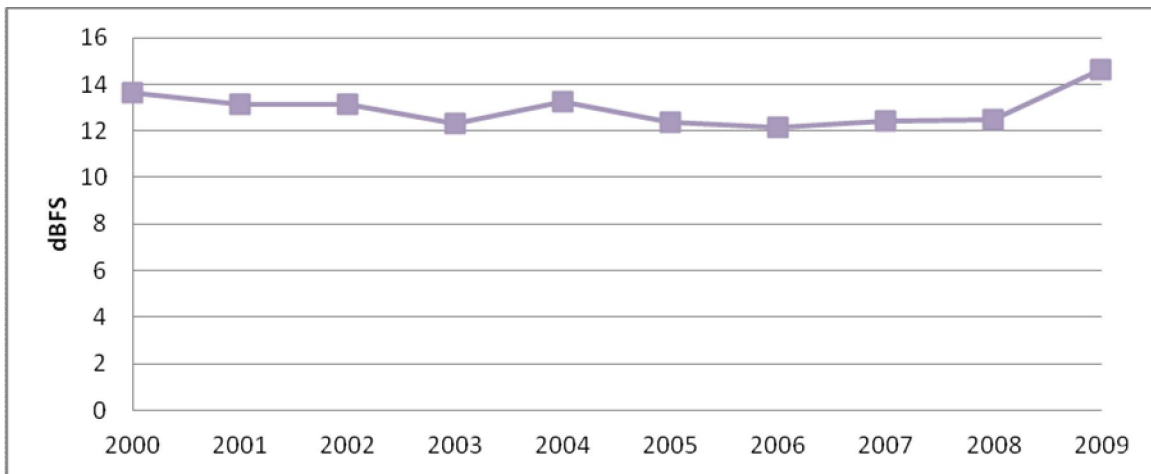
Πίνακας 3.3 – Συγκεντρωτικά αποτελέσματα 2000-2009.



Σχήμα 3.11 – Οι γραφικές παραστάσεις της διακύμανσης των τιμών peak και rms τη δεκαετία του 2000.

Η πρώτη παρατήρηση στο ανωτέρω διάγραμμα αφορά την ευθεία γραφική παράσταση που σχηματίζουν οι μέσες PEAK τιμές της δεκαετίας του 2000 και οι οποίες ισούται με 0. Οι μέσες τιμές των PEAK της δεκαετίας του 2000 εμφανίζουν ανεστραμμένη εικόνα σε σχέση με τις μέσες τιμές των PEAK το 1980. Τη δεκαετία του 1980, οι δύο τιμές που ισούται με το 0 αποτελούν την παραφωνία στις τιμές των PEAK ενώ τη δεκαετία του 2000 δύο τιμές που δεν ισούται με το 0 αποτελούν την παραφωνία.

Η παραπάνω εικόνα δηλώνει και την απόλυτη κυριαρχία του ψηφιακού μέσου στον Ελλαδικό χώρο. Οι τιμές RMS έχουν μία λιγότερο έντονη από τη δεκαετία του 1990 ανοδική πορεία. Από το 2000 έως και το 2003 η τιμή RMS αυξάνεται κατά 1.5 dB, οπότε εμφανίζεται και το μέγιστο της γραφικής παράστασης, κατόπιν εμφανίζει μία μικρή μείωση για να σταθεροποιηθεί στη περιοχή των 12 dBrms τη χρονική περίοδο 2005 έως 2008. Το 2009 εμφανίζεται μία απότομη πτώση της τάξεως των 3 db που ίσως και να αποτελεί αποτέλεσμα του αντίκτυπου που είχε η κυκλοφορία του άλμπουμ “Death Magnetic” των Metallica και της επακόλουθης δυσαρέσκειας που εκφράστηκε από το κοινό λόγω του υπερσυμπιεσμένου ήχου του.



Σχήμα 3.12 – Η διακύμανση της τιμής του Crest Factor τη δεκαετία του 2000.

Η διακύμανση της τιμής του Crest Factor τη δεκαετία του 2000 είναι ένα ανεστραμμένο είδωλο της έντασης RMS λόγω της πράξης $C.F \approx 0 - dB_{rms}$, όπου 0 οι μέσες τιμές PEAK όπως διαπιστώθηκε ανωτέρω. Επομένως, η τιμή του Crest Factor μειώνεται από το 2000 έως και το 2003, το 2004 εμφανίζει μία μικρή αύξηση, κατόπιν σταθεροποιείται στη περιοχή των 13 dB. Η παραπάνω πορεία της γραφικής παράστασης μπορεί να ερμηνευθεί από τους περιορισμούς των μέσων συμπίεσης. Η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας των look-ahead limiters που εισάγονταν από το εξωτερικό και οι οποίοι συμπιέζαν τα απότομα PEAKS χωρίς παραμόρφωση του σήματος έφτασε στα όριά της το δεύτερο μισό της δεκαετίας του 2000, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνεται από το Σχήμα 3.13 που αφορά το διεθνή χώρο, όπου επίσης το σήμα σταθεροποιείται με πιο απότομες διακυμάνσεις στη περιοχή των 12,5 dB. Το 2009 εμφανίζεται μία απότομη αύξηση του

Crest Factor, όπως αποτυπώθηκε και στο αντίστοιχο διάγραμμα RMS, πιθανόν λόγω της αμφισβήτησης του πόλεμου της έντασης στον Ελλαδικό χώρο.

Έτος	PEAK	RMS	C.F.
1980	-3,191	-20,89	17,708
1981	-2,41	-20,79	18,38
1982	-0,1	-20,55	17,17
1983	-1,04	-18,90	17,86
1984	-3,42	-21,26	17,84
1985	-3,55	-21,08	17,53
1986	-4,46	-20,63	16,17
1987	-3,712	-21,60	17,88
1988	-2,78	-21,04	18,26
1989	-3,83	-19,76	15,93
1990	-2,38	-19,456	17,076
1991	-2,365	-20,406	18,0415
1992	-3,6445	-20,228	16,584
1993	-1,945	-19,719	17,7745
1994	-2,864	-19,188	16,324
1995	-0,456	-16,28	15,8245
1996	-2,1625	-17,59	15,4275
1997	-0,184	-15,839	15,6555
1998	-0,11	-15,127	15,0175
1999	-0,7145	-14,923	14,209
2000	-0,0005	-13,613	13,613
2001	0	-13,145	13,145
2002	0	-13,145	13,145
2003	0	-12,155	12,3135
2004	0	-13,274	13,2745
2005	0	-12,356	12,356
2006	0	-12,135	12,1355
2007	0	-12,448	12,448
2008	0	-12,472	12,472
2009	-0,031	-15,47	14,623

Πίνακας 3.4 – Συγκεντρωτικά αποτελέσματα 1980-2009.

Κεφάλαιο 4 – Συμπεράσματα

4.1 Συμπεράσματα

Από την έρευνα που προηγήθηκε επιβεβαιώθηκε το γεγονός ότι ο «πόλεμος της έντασης» μεταδόθηκε πράγματι και στην Ελλάδα. Μάλιστα, από τη περιγραφή των σχεδιαγραμμάτων παρατηρήθηκε ότι οι διακυμάνσεις του Crest Factor στον Ελλαδικό χώρο ήταν παρόμοιες με αυτές στον διεθνή χώρο. Στη δεκαετία του '80 παρατηρήθηκαν απότομες αυξομειώσεις, οι οποίες όμως συνολικά οδηγούσαν σε μία μικρή μείωση της τιμής του Crest Factor. Οι αυξομειώσεις αυτές γινόντουσαν ολοένα και λιγότερο έντονες μέχρι και τα πρώτα χρόνια της δεκαετίας του '90 και οδηγούσαν στο πέρασμα από την αναλογική στη ψηφιακή περίοδο της μουσικής και την επικράτηση των ψηφιακών δυναμικών επεξεργαστών. Κατόπιν, παρατηρείται η σταδιακή πτώση της τιμής του Crest Factor, ενδεικτική της διάδοσης του ανταγωνισμού της έντασης μεταξύ των εταιριών και στην Ελλάδα. Το δεύτερο μισό της δεκαετίας του 2000 παρατηρείται μία σχετική στασιμότητα στη τιμή Crest Factor.

Σε κάθε περίπτωση, ο «πόλεμος της ακουστότητας» είναι ένας πόλεμος που δεν ευνοεί καμία από τις εμπλεκόμενες πλευρές. Ο τεχνικός Mastering είναι αναγκασμένος να παραδώσει το υλικό σε μεγαλύτερη ένταση, εστιάζοντας σε αυτόν τον παράγοντα και αφιερώνοντας περισσότερο χρόνο προκειμένου να επιτύχει τον συμβιβασμό μεταξύ της ποιότητας και της έντασης, χωρίς να μπορεί να είναι ποτέ απόλυτα ικανοποιημένος από το αποτέλεσμα, το οποίο γι' αυτόν είναι ταυτόσημο της ποιότητας. Η εταιρία είναι στην άβολη θέση να προτρέπει τον τεχνικό ήχου για ακόμα μεγαλύτερη ακουστότητα, θεωρώντας ότι με αυτόν τον τρόπο θα αυξήσει την εμπορευσιμότητα του μουσικού προϊόντος. Ο πελάτης / μουσικός είναι αναγκασμένος να δεχθεί ένα προϊόν κατώτερο των προσδοκιών του που σχετίζονται με την ποιότητα του ηχητικού υλικού και όχι με την ένταση. Ο μουσικός επιμελητής που παρουσιάζει τη μουσική είτε σε ένα μαγαζί είτε σε ένα ραδιοφωνικό σταθμό είναι αναγκασμένος να ισοσταθμίζει τις εντάσεις τραγουδιών που ακόμα και όταν ανήκουν στο ίδιο είδος, παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές ως προς την ακουστότητά τους ώστε να διατηρεί σταθερή τη ροή του προγράμματός του. Ο ακροατής που είναι και ο τελικός και ταυτόχρονα ο ουσιαστικός

αποδέκτης αυτής της διαδικασίας ακούει μουσική χαμηλότερης ποιότητας ήχου λόγω της υπερσυμπίεσης. Όπως προαναφέρθηκε, ένα υπερσυμπιεσμένο τραγούδι είναι περισσότερο κουραστικό και για τον ίδιο τον ακροατή ιδιαίτερα όταν το σήμα που μεταδίδεται είναι χαμηλότερης ποιότητας σήματος λόγω απωλεστικών αρχείων ή μετάδοσης μέσω ραδιοφώνου. Επίσης, ο ακροατής πολλές φορές «ξεγελιέται» από μουσική χαμηλότερης αισθητικής και καλλιτεχνικής αξίας, την οποία θεωρεί ως καλύτερη επειδή ακούγεται πιο δυνατά. Αυτό το φαινόμενο έχει μέχρι και κοινωνικές προεκτάσεις λόγω της απήχησης συγκεκριμένων ειδών μουσικής λόγω του εύκολου εντυπωσιασμού που προκαλούν. Τέλος, ο «πόλεμος της ηχητικής έντασης» προτρέπει / καλλιεργεί / εθίζει τον ακροατή στην αναπαραγωγή του ήχου σε ολοένα και μεγαλύτερες εντάσεις, οι οποίες όπως αναφέρθηκε είναι επιβλαβείς και για την ίδια την ακουστική του υγεία καθώς λειτουργεί σωρευτικά ως προς την απώλεια ακοής.

4.2 Προτάσεις

Όπως παρατηρείται από τα παραπάνω, σε έναν ιδεατό κόσμο όπου η ακουστότητα δεν θα έπαιζε κανένα ρόλο, η βιομηχανία της μουσικής θα ήταν πιο υγιής όσον αφορά το θέμα της ποιότητας του ήχου. Η ακουστότητα όμως στην οποία εκτίθεται είναι ένα φαινόμενο απόλυτα υπαρκτό. Ψυχοακουστικά, είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με την ίδια την ανθρώπινη αντίληψη και έως εκ τούτου και ο πιο έμπειρος ακροατής μπορεί να εντυπωσιαστεί από την ηχητική ένταση που προσλαμβάνει την μουσική και να τη θεωρήσει πιο αρεστή. Δεν είναι τυχαίο εξάλλου ότι η συντριπτική πλειοψηφία των συναυλιών μουσικής από τη κλασική μέχρι τη jazz και τη rock έχουν ως απώτερο σκοπό η αναπαραγωγή να πραγματοποιείται σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ένταση που πολλές φορές αγγίζει και τα όρια του πόνου ακοής. Οι χώροι που εκθέτουν δημόσια τη μουσική επίσης προτρέπουν για τη μέγιστη δυνατή ένταση σε σχέση με τις ανάγκες και τη λειτουργικότητα του χώρου. Ακόμα και οι ομιλίες όταν πραγματοποιούνται σε δυνατές εντάσεις τείνουν να γίνονται πιο πειστικές.⁷⁹

⁷⁹ Benjamin K. Bergen, *Louder Than Words: The New Science of How the Mind Makes Meaning*

Οι παραπάνω διαπιστώσεις διατυπώθηκαν προκειμένου να τονιστεί ότι η συντριπτική πλειοψηφία των ακροατών θα είναι «αντικείμενα» της ακουστότητας και παρόλο που η ανάγκη για μεταφορά του κέντρου προσοχής από την ένταση στην ποιότητα διαπιστώθηκε επιτακτική, είναι ανέφικτη από τη μεριά του ακροατή. Μία λύση που είναι όμως εφικτή, είναι η καθιέρωση μονάδων ακουστότητας καθώς και μετρητών έντασης σε όλες τις συσκευές που μεταδίδουν ήχο και οι οποίες θα ανταποκρίνονται στο ψυχοφυσικό μέγεθος της ακουστότητας και όχι στο φυσικό μέγεθος της έντασης του ήχου, όπως αυτό που προτάθηκε από τον Bob Katz το 1999 (K-system)⁸⁰. Με αυτό τον τρόπο θα αντιμετωπίζονταν μία πληθώρα καθημερινών μικρών συνηθειών του ακροατή, οι οποίες σχετίζονται με το ρυθμιστή έντασης. Ο ακροατής για παράδειγμα τείνει να χρησιμοποιεί το ρυθμιστή έντασης σε κάποιες συγκεκριμένες τιμές. Η τιμή 2 για παράδειγμα σε κάποιον ακροατή αντιστοιχεί στη μέτρια ένταση, η τιμή 2,5 στη δυνατή και η τιμή 3 στη πολύ δυνατή ένταση. Εάν κάποιο τραγούδι ακούγεται πιο δυνατά από το αναμενόμενο θεωρεί ότι είναι «εντύπωσή» του και αφήνει τον ρυθμιστή έντασης στο ίδιο επίπεδο στάθμης.

Θα μπορούσε να ειπωθεί ότι αυτό το φαινόμενο ανήκει στην κατηγορία όπου μικρά αίτια οδηγούν σε μεγάλα αποτελέσματα. Ο ακροατής δεν δύναται και δε χρειάζεται να γνωρίζει τη σημασία της εφαρμογής ίσης έντασης μεταξύ των τραγουδιών που ακούει, έστω και αν αυτή πραγματοποιείται με μία απλή κίνηση του χεριού του. Όμως η μη εφαρμογή της οδήγησε τη μουσική βιομηχανία στη σημερινή κρίση και τη διχογνωμία σε σχέση με την ακουστότητα, κάτι που επίσης ο ακροατής δεν θα μπορούσε να είχε προβλέψει. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι ακόμα και αν εφαρμοστεί ένας πρότυπος μετρητής της πραγματικής έντασης, θα πρέπει να μετατοπιστεί η προσοχή του ακροατή από τον ρυθμιστή έντασης στην ένδειξη της στάθμης του μετρητή και μόνο.

Η πρόταση αυτή θα αποτελούσε πολύ χρήσιμο εργαλείο και για τους μουσικούς επιμελητές που θέλουν να επιτύχουν την όσο το δυνατόν ορθότερη ισοστάθμιση των τραγουδιών μεταξύ τους. Η εν λόγω πρόταση γίνεται ακόμα περισσότερο ρεαλιστική στη ψηφιακές συσκευές αναπαραγωγής ήχου που πλέον κυριαρχούν στην αγορά καθώς ένας

⁸⁰ Bob Katz, An Integrated Approach to Metering, Monitoring, and Levelling Practices

πρότυπος μετρητής έντασης σε ένα ψηφιακό ραδιοφωνικό σταθμό δε θα είχε απολύτως κανένα κόστος.

4.3 Περιορισμοί / προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Σε σημεία της μελέτης έγινε επίκληση άποψης της πηγής χωρίς να υπάρχουν έρευνες που να την επιβεβαιώνουν, όπως:

- κατά πόσο οι ακροατές αντιλαμβάνονται τη παραμόρφωση που υφίσταται το υπερσυμπιεσμένο σήμα.
- κατά πόσο ένα υπερσυμπιεσμένο σήμα ενός απωλεστικού αρχείου ήχου (mp3) υφίσταται μεγαλύτερη απώλεια της ποιότητας του ήχου.
- Παρομοίως, εάν η ραδιοφωνική μετάδοση ενός υπερσυμπιεσμένου σήματος παρουσιάζει μεγαλύτερη ποιότητας του ήχου.
- εάν ένα υπερσυμπιεσμένο κομμάτι δημιουργεί μεγαλύτερη κόπωση στον ακροατή.

Τα ανωτέρω στοιχεία θα μπορούσαν να διερευνηθούν περαιτέρω σε σχέση με το υπόψη ερευνητικό ζήτημα.

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσσες Αναφορές

Benjamin K. Bergen, Louder Than Words: The New Science of How the Mind Makes Meaning

Izotope, Izotope Mastering Guide 2013

Max V. Mathews and John R. Pierce, Current Directions In Computer Music Research, MIT PRESS 1989

The Computer Music Tutorial, Curtis Roads, MIT Press 1996

The Audio Mastering Handbook, Owsinsky Bobby, Thomson Course Technology 2008

Mastering Audio the art and the science, Katz Bob, Focal Press 2002

Modern Recording Techniques, Hubert & Runstein, Focal Press 1997

Psychoacoustics, Hugo Fastl & Eberhard Zwicker, Springer 2007

Ελληνόγλωσσες Αναφορές

Εφαρμοσμένη Ακουστική, Σκαρλάτος Δημήτρης, Εκδόσεις Gotsis 2008

Ηχοτεχνία τόμος Α, Κωνσταντίνος Κουλούρης & Αντώνης Πετρίδης, Εκδόσεις ΙΩΝ 2003

Ψυχοακουστική, Παπαδάκης Νίκος, σημειώσεις στο μάθημα Ψυχοακουστική του ΤΕΙ Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής

Mastering, Φητσανάκης Μήνωσ, σημειώσεις στο μάθημα Mastering του ΤΕΙ Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής

Αλεξάνδρα Σωτηροπούλου, Εμβάθυνση στον σχεδιασμό αρχιτεκτονικών χώρων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Ταξιάρχης Διαμαντόπουλος, Προγραμματισμός και Σύνθεση Ήχου, Εκδόσεις ΕΛΛΗΝ

Διαδικτυακές Αναφορές

<http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamics>

<http://mathworld.wolfram.com/Root-Mean-Square.html>

<http://www.soundonsound.com/sos/sep11/articles/loudness.htm>

http://www.wired.com/listening_post/2008/09/does-metallicas/

<http://www.guardian.co.uk/music/2008/oct/01/metallica.popandrock>

<http://www.billboard.com>

http://rfdesign.com/mag/radio_crest_factor_analysis

http://www.yokogawa.com/yumi/tutorial/tm-tutorial_wt_08.htm

Παράρτημα

Ακολούθως, παρατίθενται τα αποτελέσματα της έρευνας ανά δεκαετία. Με τη συντομογραφία C.F. εννοείται ο παράγοντας Crest Factor.

Δεκαετία του 1980

1980

ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	PEAK	RMS	C.F.
Άννα Βίση - Το ξέρω θα 'ρθεις ξανά	-4,2	-23,93	19,73
Άννα Βίση - Μεθυσμένη πολιτεία	-2,15	-21,12	18,97
Άννα Βίση - Όσο έχω φωνή	-4,235	-22,36	18,125
Αρβανίτη Σοφία & Τουρνάς Κώστας - Μην της το πεις	-5,37	-19,22	13,85
Παπακωνσταντίνου Βασίλης - Και Αν Είμαι Rock	0	-17,86	17,865
μ.ο	-3,191	-20,89	17,708

Πίνακας Π.1 – C.F. το έτος 1980.

1981

ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	PEAK	RMS	C.F.
Άννα Βίση - Είναι στιγμές	-1,24	-20,07	18,82
Βαγγέλης Γερμανός - Η μπανιέρα	-4,42	-21,99	17,57
Μπέσσυ Αργυράκη - Μόνο Εσύ Μόνο Εγώ	-4,62	-21,35	16,72
Δήμητρα Γαλάνη - Δύσκολοι καιροί	-0,71	-19,90	19,19
Στράτος Διονυσίου - Και λέγε λέγε	-1,06	-20,66	19,60
μ.ο	-2,41	-20,79	18,38

Πίνακας Π.2 – C.F. το έτος 1981.

1982

ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	PEAK	RMS	C.F.
Λάκης Παπαδόπουλος - Φάλτσα Μενεξεδιά	-0,1	-21,37	21,27
Σπυριδούλα - Νάυλον ντέφια και ψόφια κέφια	-4,92	-19,58	14,65
Βασίλης Παπακωνσταντίνου – Στέλλα	-3,06	-20,77	17,71
2002 GR - Είπες πως	-4,85	-20,19	15,34
Βαγγέλης Γερμανός – κρουαζιέρα	-3,96	-20,85	16,89
μ.ο	-0,1	-20,55	17,17

Πίνακας Π.3 – C.F. το έτος 1982.

1983

ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	PEAK	RMS	C.F.
2002 GR - Τι να σου προσφέρω	-1,63	-22,32	20,68
Μανώλης Μητσιάς - Παραστράτησα για σένα	-0,05	-14,16	14,10
Γιάννης Πουλόπουλος - Φίλε μου	-0,57	-18,93	18,36
Στράτος Διονυσίου-Τα πήρες όλα κι έφυγες	-1,26	-19,04	17,78
Βιτάλη Ελένη - Βάρα με το ντέφι	-1,69	-20,09	18,39
μ.ο	-1,04	-18,90	17,86

Πίνακας Π.4 – C.F. το έτος 1983.**1984**

ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	PEAK	RMS	C.F.
Γιάννης Γιοκαρίνης - Αχ, Ευλαμπία	-1,08	-23,06	21,98
Βασίλης Παπακωνσταντίνου - Ο μαύρος γάτος	-3,58	-21,54	17,96
Βαγγέλης Γερμανός - Ο δραπέτης	-3,69	-19,59	15,90
Αφροδίτη Μάνου - Νυχτερινή Εκπομπή	-3,93	-19,21	15,28
Ελένη Δήμου - Ετοιμάζω ταξίδι	-4,83	-22,88	18,05
μ.ο	-3,42	-21,26	17,84

Πίνακας Π.5 – C.F. το έτος 1984.**1985**

ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	PEAK	RMS	C.F.
Βασίλης Παπακωνσταντίνου- Ασε με να κάνω λάθος	-2,07	-19,14	17,07
Λάκης Παπαδόπουλος – Γυριστρούλα	-3,29	-21,74	18,45
Άννα Βίσση – Δώδεκα	-2,47	-21,44	18,97
Μαντώ - Fill Me Up	-6,93	-20,99	14,06
Γιαννης Γιοκαρινης – Τσικαμπουμ	-2,95	-22,04	19,09
μ.ο	-3,55	-21,08	17,53

Πίνακας Π.6 – C.F. το έτος 1985.**1986**

ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	PEAK	RMS	C.F.
Χρήστος Κυριαζής - Έλα μωράκι μου	-5,33	-21,27	15,94
Μικρούτσικος Αντρέας - Χαμένο νησί (Μου λείπεις)	-3,89	-20,78	16,9
Σοφία Βόσσου – Φιλαράκι	-2,47	-20,57	18,10
Φατμέ - Πέστο και έγινε	-0,62	-18,29	17,67
Σάκης Μπουλάς - Μπανάκι μανάκι	-10,00	-22,25	12,25
μ.ο	-4,46	-20,63	16,17

Πίνακας Π.7 – C.F. το έτος 1986.

1987

ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	PEAK	RMS	C.F.
Χάρις Αλεξίου – Εξαρτάται	-2,97	-23,72	20,75
Λαθρεπιβάτες - Απόψε Λέω Να Μη Κοιμηθούμε	-0,99	-19,33	18,34
Μιχάλης Ρακιντζής - Μωρό μου Φάλτσο	-6,02	-21,45	15,43
Τερμίτες - Πόσο σε θέλω	-4,00	-21,21	17,21
Νίκος Καρβέλας - Τα εσώρουχα	-4,56	-22,21	17,64
μ.ο	-3,712	-21,60	17,88

Πίνακας Π.8 – C.F. το έτος 1987.**1988**

ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	PEAK	RMS	C.F.
2002 GR - Δεν είσαι έρωτας εσύ	-3,43	-20,99	17,56
Αλέξια - Τα Κορίτσια Ξενυχτάνε	-4,07	-21,03	16,96
Πωλίνα - Πάμε για τρέλες στις Σευχέλλες	-2,77	-21,53	18,76
Γιάννης Μηλιώκας & Αφροδίτη Μάνου – Ροζ	-1,17	-20,50	19,33
Άννα Βίτση - Τα μαθητικά τα χρόνια	-2,45	-21,16	18,71
μ.ο	-2,78	-21,04	18,26

Πίνακας Π.9 – C.F. το έτος 1988.**1989**

ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	PEAK	RMS	C.F.
Ζιγκ Ζαγκ-Αγάπη του καλοκαιριού	-6,89	-21,34	14,45
Μαντώ - Αυτό Το Καλοκαίρι	-5,23	-22,54	17,31
Καρβέλας - Σούζυ τσουζει	-3,10	-21,53	18,43
Βαγγέλης Γερμανός-Σκλάβος σου για πάντα	0,00	-12,34	12,34
Άννα Βίτση – Έμπνευση	-3,91	-21,05	17,14
μ.ο	-3,83	-19,76	15,93

Πίνακας Π.10 – C.F. το έτος 1989.

Δεκαετία του 1990

1990

ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	PEAK	RMS	C.F.
Μιχάλης Ρακιντζής – Προκαλείς	-5,46	-22,195	16,735
Σοφία Βόσσου - Άκου την καρδιά	-2,525	-19,97	17,445
Άννα Βίσση & Καρβέλας Νίκος - Στα 79	-4,17	-21,41	17,24
Μιχάλης Ρακιντζής - Κάνε μια ευχή	-3,04	-19,54	16,5
Κωνσταντίνα - Θα Φύγω Για Κάιρο	-2,165	-19,48	17,315
Μαντώ - Σώμα Με Σώμα Φιλί Με Φιλί	-2,755	-20,915	18,16
Χρήστος Δάντης - Ποιος είμαι εγώ	-2,825	-20,985	18,16
Αλέξια-Ορκίσου	-0,2	-15,35	15,15
Σοφία Αρβανίτη - Μη Μου Μιλάς Για Καλοκαίρια	-0,395	-16,87	16,475
Μαντώ – Στοιχηματίζω	-0,265	-17,845	17,58
μ.ο	-2,38	-19,456	17,076

Πίνακας Π.11 – C.F. το έτος 1990.

1991

ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	PEAK	RMS	C.F.
Σοφία Αρβανίτη - Μη Μου Μιλάς Για Καλοκαίρια	-3,09	-20,18	17,09
Μιχάλης Ρακιντζής - Εγώ και ο Πουφ	-1,49	-19,65	18,16
Μαντώ-Τιμώρησε με	0	-17,465	17,465
Στέφανος Κορκολής - Γιατί, Γιατί, Γιατί	-2,53	-21,85	19,32
Ανδρέας Μικρούτσικος - Το κουτσουράκι	-1,635	-19,49	17,855
Ευρυδίκη - Το μόνο που θυμάμαι	-2,445	-21,35	18,905
Σοφία Βόσσου – Άνοιξη	-3,155	-19,745	16,59
ΜΑΝΤΩ – Εσύ	-3,655	-24,065	20,41
Κώστας Μπίγαλης - Του Αιγαίου Τα Blues	-3,79	-20,15	16,36
Μιχάλης Ρακιντζής - Πες πως δε με γνωρισεσ ποτέ	-1,86	-20,12	18,26
μ.ο	-2,365	-20,4065	18,0415

Πίνακας Π.12 – C.F. το έτος 1991.

1992

ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	PEAK	RMS	C.F.
Αλέξια - Μάτια μου	-5,165	-20,42	15,255
Νίκος Καρβέλας-Μούρη	-7,705	-20,78	13,075
Κώστας Χαριτοδιπλωμένος - Ψηλές κοντές	-4,65	-21,65	17
Βασίλης Καζούλης - Αν Ησουν Αγγελος	0	-21,625	21,625
Δάκης-Τσάι με λεμόνι	-1,74	-18,88	17,14
Σάκης Ρουβάς - Μην Αντιστέκεσαι	-1,795	-19,1	17,305
Μαντώ - Ταιριάζουμε σαν γάντι	-2,605	-19,835	17,23
Κωνσταντίνα - Μια Ελλάδα φως	-3,1	-20,35	17,25
VIP's - Χωρίς εσένα	-4,195	-19,57	15,375
Ελένη Βιτάλη - Πάμε γι' άλλες πολιτείες ερωτικές	-5,49	-20,075	14,585
μ.ο	-3,6445	-20,2285	16,584

Πίνακας Π.13 – C.F. το έτος 1992.**1993**

ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	PEAK	RMS	C.F.
Κώστας Μπίγαλης - Η Κόρη Του Περιπτερά	-3,515	-20,45	16,935
Λαυρέντης Μαχαιρίτσας - Ρίξε Κόκκινο Στη Νύχτα	-2,295	-22,13	19,835
Κώστας Μπίγαλης - Μικρή Μου Μέλισσα	0	-18,6	18,6
Στέφανος Κορκολής - Σκόνη και Θρύψαλα	-2,93	-20,96	18,03
Γιάννης Ζουγανέλης - Ο Μακρυμάλλης	-0,71	-16,975	16,265
Κώστας Χαριτοδιπλωμένος - Αγγελέ μου τυραννέ μου	-1,745	-20,12	18,375
Θάνος Καλλίρης-Γιορτάζω	0	-14,95	14,95
Κωνσταντίνα - Γλυφάδα Μαρακές	-2,385	-20,925	18,54
Στέφανος Κορκολής - Και βγάλε το κραγιόν σου	-2,425	-20,755	18,33
Ανδρέας Μικρούτσικος-Τρελαίνομαι	-3,445	-21,33	17,885
μ.ο	-1,945	-19,7195	17,7745

Πίνακας Π.14 – C.F. το έτος 1993.

1994

ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	PEAK	RMS	C.F.
Κακά Κορίτσια-Γεια σου	-0,06	-17,94	17,88
Κακά Κορίτσια-Μια καρδιά για δύο	-0,04	-16,44	16,4
Θάνος Καλλίρης - Κάποιο Καλοκαίρι	-3,775	-19,9	16,125
Στέφανος Κορκολής - Είσαι αστέρι	-3,09	-20,3	17,21
Τάκης Βαμβακίδης - Πλάτσα πλούτσα	-4,335	-20,48	16,145
Θάνος Καλλίρης - Love Sorry	-0,05	-16,54	16,49
Νίκος Καρβέλας - Θεε δε θεε	-4,395	-19,365	14,97
Χρήστος Δάντης - Κάποιος σ' αγαπάει	-1,83	-19,965	18,135
X. & Π. Κατσιμιχάιοι - Της αγάπης μαχαιριά	-6,145	-21,225	15,08
Κώστας Τουρνάς - Δεν Μετανιώνω	-4,92	-19,725	14,805
μ.ο	-2,864	-19,188	16,324

Πίνακας Π.15 – C.F. το έτος 1994.**1995**

ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	PEAK	RMS	C.F.
Κορκολής Στέφανος & Francesca Schiavo - Σε θέλω	0	-15,34	15,34
Αντώνης Βαρδής - Θα 'θελα να ήσουν εδώ	-3,56	-20,95	17,39
Κορκολής Στέφανος-Με το σημάδι του Σκορπιού	0	-13,93	13,93
Ζιγκ Ζαγκ - Φύσηξε έρωτας	-0,73	-19,295	18,565
Λίτσα Γιαγκούση - Χαλάλι σου	0	-16,15	16,15
Αλκίνοος Ιωαννίδης- Δεν μπορώ	-0,27	-18,055	17,785
Δήμητρης Κόκοτας - Πολύ καλή για να'σαι αληθινή	0	-18,135	18,135
Active Member - Άκου μάνα	0	-16,805	16,805
Λίτσα Γιαγκούση – Απιστία	0	-13,085	13,085
Ξύλινα Σπαθιά - Λιωμένο παγωτό	0	-11,06	11,06
μ.ο	-0,456	-16,2805	15,8245

Πίνακας Π.16 – C.F. το έτος 1995.

1996

ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	PEAK	RMS	C.F.
Βασίλης Καζούλης – ΦΑΝΗ	-5,73	-21,155	15,425
Μπλε - Νιώθω ενοχές	-3,99	-19,98	15,99
Σάκης Ρουβάς - Τώρα Αρχίζουν Τα Δύσκολα	-4,67	-19,925	15,255
Αντζελα Δημητρίου - Μαργαρίτες	-0,265	-21,175	20,91
Μπλε – Φοβαμαι	-5,045	-20,255	15,21
Καίτη Γαρμπή - Αρχίζω Πόλεμο	0,41	-15,71	16,12
Κατερίνα Τοπάζη - Θα 'θελα	0	-11,925	11,925
Λάμπης Λιβιεράτος - Μπαμ και κάτω	0	-14,125	14,125
Βλάσης Μπονάτσος - Μια Γυναίκα	-0,775	-15,5	14,725
Στέλιος Ρόκκος - Λέει λέει λέει	-1,56	-16,15	14,59
μ.ο	-2,1625	-17,59	15,4275

Πίνακας Π.17 – C.F. το έτος 1996.

1997

ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	PEAK	RMS	C.F.
Γιώργος Μαζωνάκης-Το Λουκέτο	0	-13,615	13,615
Τριαντάφυλλος - Μην με τρυπάς σαν το τριαντάφυλλο	-0,945	-14,03	13,085
Άννα Βίτση- Σάκης Ρουβάς 'Σε θέλω, με θέλεις'	0	-18,215	18,215
Δέσποινα Βανδή-Ο περιττός	0	-16,795	16,795
Καίτη Γαρμπή-Όλα στα καταλογίζω	-0,13	-14,095	13,965
Δημήτρης Κόκκοτας - Ήλιε μου	0	-17,925	17,925
Χρήστος Κυριαζής - Το ημεροβίγλι	0	-17,945	17,945
Στέλιος Ρόκκος - Μαρια Μαράκι Μαριώ	-0,765	-16,96	16,195
Σπύρος Σπυράκος - Τι σου λέει για μένα	0	-14,89	14,89
Χριστίνα Φαρμάκη - Να σε ξεπεράσω δεν μπορώ	0	-13,925	13,925
μ.ο	-0,184	-15,8395	15,6555

Πίνακας Π.18 – C.F. το έτος 1997.

1998

ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	PEAK	RMS	C.F.
Γιάννης Βαρδής-Άμα δεις τα παιδιά	-0,935	-14,92	13,985
Φοίβος Δεληβοριάς-Θέλω να σε ξεπεράσω	0	-13,63	13,63
Στέλιος Ρόκκος - Χάντρα Χάντρα	0	-12,785	12,785
Αντύπας-Οι νύχτες του τρελού	-0,135	-13,815	13,68
Σταμάτης Γονίδης - Και με παίρνουν τα κλάματα	-0,03	-16,83	16,8
Αντζελα Δημητρίου-Δεν είσαι τίποτα	0	-17,2	17,2
Τερζής & Θεοδωρίδου - Δεν θέλω τέτοιους φίλους	0	-16,83	16,83
Τριαντάφυλλος – Μοναχός	0	-13,665	13,665
Νατάσα Θεοδωρίδου - Ένα σπίτι καίγεται	0	-16,68	16,68
Διονύσης Σχοινάς - Δεν θα σε αφήσω ποτέ μου	0	-14,92	14,92
μ.ο	-0,11	-15,1275	15,0175

Πίνακας Π.19 – C.F. το έτος 1998.

1999

ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	PEAK	RMS	C.F.
Δάντης Χρήστος-Το παλιό μου παλτό	-0,065	-14,215	14,15
Λ. Μαχαίριτσας & Δ. Σαββόπουλος - Και τι ζητάω	-4,305	-20,09	15,785
Αργυράκη - Πιο Δυνατά (Stayin Alive)	-1,385	-19,72	18,335
Antique - Όπα όπα	0	-11,005	11,005
Δέσποινα Βανδή - Κλείνομαι	0	-13,985	13,985
Βαλάντης - Όλη η ζωή σου μια βιτρίνα	-1,01	-14,475	13,465
Ελένη Καρουσάκη - Τώρα δεν αντέχεις	0	-12,72	12,72
Τρύπες – Γιορτή	-0,315	-13,01	12,695
DE FACTO - Άχρηστα ρολόγια	0	-13,345	13,345
Θέμης Αδαμαντίδης - Μα Που Να Πάω	-0,065	-16,67	16,605
μ.ο	-0,7145	-14,923	14,209

Πίνακας Π.20 – C.F. το έτος 1999.

Δεκαετία του 2000

2000

ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	PEAK	RMS	C.F.
Γιώργος Μαζωνάκης - Εδώ	-0,005	-15,285	15,28
Μιχάλης Χατζηγιάννης - Μόνο στα όνειρα	0	-14,375	14,375
Αννα Βίσση – Κραυγή	0	-13,42	13,42
Δέσποινα Βανδή – Υποφέρω	0	-12,755	12,755
Καίτη Γαρμπή - Το κάτι	0	-14,73	14,73
Αντώνης Ρέμος – Μείνε	0	-10,49	10,49
Σάκης Ρουβάς - Σε θέλω σαν τρελός	0	-13,51	13,51
Διονύσης Σχοινιάς - Μου ταιριάζεις	0	-12,955	12,955
Γιάννης Πλούταρχος - Υπήρχαν όρκοι	0	-12,945	12,945
Νότης Σφακιανάκης - Δε μπορώ να καταλάβω	0	-15,67	15,67
μ.ο	-0,0005	-13,6135	13,613

Πίνακας Π.21 – C.F. το έτος 2000.

2001

ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	PEAK	RMS	C.F.
Γιώργος Τσαλίκη - Μαζί σου και στην κόλαση	0	-12,115	12,115
Γιώργος Μαζωνάκης - Όπου κοιτάξεις	0	-12,235	12,235
Αντώνης Ρέμος - Έλα να με τελειώσεις	0	-13,065	13,065
Μιχάλης Χατζηγιάννης - Δεν έχω χρόνο	0	-13,39	13,39
Νίκος Κουρκούλης - Πιστεψε με	0	-13,24	13,24
Βασίλης Καρράς – Γύρισε	0	-13,445	13,445
Σταμάτης Γονίδης – Έτσι	0	-11,285	11,285
Στέλιος Ρόκκος – Βήματα	0	-13,025	13,025
Νότης Σφακιανάκης-Οι Σκιές	0	-13,365	13,365
Χρήστος Δάντης - Το δωμάτιο	0	-16,285	16,285
μ.ο	0	-13,145	13,145

Πίνακας Π.22 – C.F. το έτος 2001.

2002

ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	PEAK	RMS	C.F.
Σάκης Ρουβάς - Όλα καλά	0	-11,305	11,305
Άννα Βίτση - Τάσεις αυτοκτονίας	0	-11,495	11,495
Δέσποινα Βανδή - Η μελωδία της μοναξιάς	0	-12,22	12,22
Αντώνης Ρέμος - Καρδιά μου μην ανησυχείς (Club Mix)	0	-8,95	8,95
Πέγκυ Ζήνα - Τολμάς και έχεις παράπονο εσυ	0	-14,295	14,295
Γιάννης Πλούταρχος - Σάββατο έκλαψα για 'σένα	0	-13,595	13,595
Νατάσσα Θεοδωρίδου - Φεγγάρι	0	-13,36	13,36
Πασχάλης Τερζής - Έχει ένα φεγγάρι	0	-13,85	13,85
Μιχάλης Χατζηγιάννης - Είσαι εδώ	0	-12,89	12,89
Νότης Σφακιανάκης - Πιο ξένη	0	-19,49	19,49
μ.ο	0	-13,145	13,145

Πίνακας Π.23 – C.F. το έτος 2002.**2003**

ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	PEAK	RMS	C.F.
Αντώνης Ρέμος - Μια αναπνοή	0	-12,155	12,155
Νίκος Βέρτης - Αστέρι Μου	0	-12,98	12,98
Άννα Βίτση - Είσαι	0	-13,17	13,17
Μιχάλης Χατζηγιάννης - Μόνος Μου	0	-11,19	11,19
Γιάννης Πλούταρχος - Πώς να γίνουμε ξένοι	0	-12,485	12,485
Πέγκυ Ζήνα - Για να το λες	0	-11,435	11,435
Έλλη Κοκκίνου - Καινούρια αρχή	0	-11,43	11,43
Δάντης - Ένα τραγούδι ακόμα	0	-13,305	13,305
Σάκης Ρουβάς - Το Χρόνο Σταματάω	0	-12,26	12,26
Γιάννης Βαρδής - Γιά ένα λεπτό (Remix)	0	-12,725	12,725
μ.ο	0	-12,155	12,3135

Πίνακας Π.24 – C.F. το έτος 2003.

2004

ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	PEAK	RMS	C.F.
Νότης Σφακιανάκης – Γενέθλια	0	-14,18	14,18
Μιχάλης Χατζηγιάννης - Ακατάλληλη σκηνή	0	-12,925	12,925
Πασχάλης Τερζής – Αρχιπέλαγος	0	-11,85	11,85
Σάκης Ρουβάς - SHAKE IT	0	-14,145	14,145
Δέσποινα Βανδή - Να την χαιρεσαι	0	-15,855	15,855
Νίκος Κουρκούλης – Έτσι	0	-14,085	14,085
Γιώργος Τσαλίκης – Δυναμίτης	0	-12,415	12,415
Νίκος Βέρτης - Πάμε ψυχή μου	0	-13,685	13,685
Έλλη Κοκκίνου & Γιώργος Μαζωνάκης - Το Gucci φόρεμα	0	-11,09	11,09
Σταμάτης Γονίδης - Έχω πετάξει μαζί σου	0	-12,515	12,515
μ.ο	0	-13,2745	13,2745

Πίνακας Π.25 – C.F. το έτος 2004.**2005**

ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	PEAK	RMS	C.F.
Άννα Βίτση – Nylon	0	-10,595	10,595
Μιχάλης Χατζηγιάννης - Όνειρο ζω	0	-12,915	12,915
Νατάσσα Θεοδορίδου - Δε σε νοιάζει για μας	0	-9,11	9,11
Γιάννης Πλούταρχος - Όλα σε σένα τα βρήκα	0	-14,44	14,44
Πέγκυ Ζήνα – Νόημα	0	-11,15	11,15
Νότης Σφακιανάκης - Κι Αν Με Βρείς	0	-12,82	12,82
Δέσποινα Βανδή - Happy End	0	-17,325	17,325
Χρήστος Δάντης – Beautiful	0	-12,86	12,86
Έλλη Κοκκίνου - Τι της έχεις βρει	0	-11,17	11,17
Αντώνης Ρέμος – Χαμογέλασε	0	-11,175	11,175
μ.ο	0	-12,356	12,356

Πίνακας Π.26 – C.F. το έτος 2005.

2006

ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	PEAK	RMS	C.F.
Στέλιος Ρόκκος – Αεροπλάνο	0	-11,98	11,98
Αντώνης Ρέμος – Συγνώμη	0	-13,685	13,685
Μιχάλης Χατζηγιάννης - Να είσαι εκεί	0	-11,355	11,355
Σάκης Ρουβάς – Δεκαοχτώ	0	-11,775	11,775
Νίκος Βέρτης - Πώς να το εξηγήσω	0	-13,655	13,655
Έλλη Κοκκίνου - Τα Λευτά	0	-12,155	12,155
Γιάννης Πλούταρχος – Αφιερωμένο	0	-12,45	12,45
Χρήστος Δάντης - Για σενα 'νε μπορώ	0	-11,12	11,12
Σταμάτης Γονίδης - Μα ποτέ μην ξεχάσεις	0	-11,66	11,66
Πασχάλης Τερζής - Φεύγω Χωρίζω	0	-11,52	11,52
μ.ο	0	-12,1355	12,1355

Πίνακας Π.27 – C.F. το έτος 2006.**2007**

ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	PEAK	RMS	C.F.
Νίκος Κουρκούλης - Αφιερωμένο	0	-12,59	12,59
Μιχάλης Χατζηγιάννης - Πιο πολύ	0	-13,015	13,015
Γιάννης Πλούταρχος - Ανάσα μου	0	-13,465	13,465
Γιώργος Τσαλίκης - Καλύτερα παλιόπαιδο	0	-11,75	11,75
Νίκος Μακρόπουλος - Δώδεκα και ένα	0	-12,515	12,515
Έλλη Κοκκίνου – Ειλικρινά	0	-10,85	10,85
Νίκος Βέρτης - Μόνο για σενα	0	-12,14	12,14
Νίκος Οικονομόπουλος - Κοίτα να μαθαίνεις	0	-11,64	11,64
Βασίλης Καρράς & Χρήστος Δάντης - Α ρε μοναξιά	0	-11,685	11,685
Γιώργος Μαζωνάκης - Σ' έχω επιθυμήσει	0	-14,83	14,83
μ.ο	0	-12,448	12,448

Πίνακας Π.28 – C.F. το έτος 2007.

2008

ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	PEAK	RMS	C.F.
Μιχάλης Χατζηγιάννης - Εμείς οι δυο σαν ένα	0	-10,055	10,055
Χρήστος Δάντης - Εκτός τροχιάς	0	-11,205	11,205
Κώστας Καραφώτης - Οι Άγγελοι	0	-12,55	12,55
Νίκος Βέρτης - Όνειρο αληθινό	0	-15,85	15,85
Νίκος Κουρκούλης - Σε περιμένω	0	-14,21	14,21
Ρόκκος Στέλιος - Πόσο Ακόμα	0	-12,81	12,81
Σάκης Ρουβάς - Ήρθες	0	-9,97	9,97
Πάνος Κιάμος - Χαρτορίχτρα	0	-13,46	13,46
Βίση Άννα - Αλήτισσα Ψυχή	0	-12,43	12,43
Αντώνης Ρέμος - Μέχρι το τέλος του κόσμου	0	-12,18	12,18
μ.ο	0	-12,472	12,472

Πίνακας Π.29 – C.F. το έτος 2008.**2009**

ΟΝΟΜΑ ΚΟΜΜΑΤΙΟΥ	PEAK	RMS	C.F.
Γιώργος Μαζωνάκης - Οι Αντρες Δεν Κλαίνε	0	-15,47	15,47
Κουρκούλης Νίκος - Ωπα Ωπα	0	-16,635	16,635
Αγγελική Ηλιάδη - Χαμογελώ και προχωράω	0	-12,52	12,52
Ραλλία Χρηστίδου - Έξω βγες (Sumka Remix)	0	-15,84	15,84
Χριστίνα Κολέτσα - Μοναδική	0	-13,86	13,86
C-Real - Αν Είσαι Εσύ	0	-13,315	13,315
Σάκης Αρσενίου - Σαν την αγάπη μας δεν έχει	0	-12,72	12,72
Νίκος Γκάνος - Έφυγα	0	-10,895	10,895
Θάνος Πετρέλης - 1 2 3	-0,31	-16,245	15,935
VIP Feat. Νίκος Κυριακάκης - Βεντέτα (Master Tempo Mix)	0	-19,04	19,04
μ.ο	-0,031	-15,47	14,623

Πίνακας Π.30 – C.F. το έτος 2009.